

ZUKUNFT.DE

Wissenschaftliche Erkenntnisse

Felix Röckle, Lars Mauch
Fraunhofer IAO

13.10.2020



Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Unterscheidung zwischen möglicher Elektrifizierung und wirtschaftlicher Elektrifizierung

Elektrifizierungspotenzial auf Tourenebene	Laderaumvolumen des Fahrzeugs
	Reichweite des Fahrzeugs
Elektrifizierungspotenzial auf Betriebsebene	Energetische Ausstattung des Betriebshofs
	Technisch-organisatorische Rahmenbedingungen

+

Wirtschaftlichkeit

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Elektrifizierungspotenziale auf Tourenebene: Maßgebliche Kenngrößen – Laderaumvolumen

- Wichtigstes Segment: »große Kleintransporter« (MB Sprinter, VW Crafter)
- Größenklassen:

Fahrzeuglänge	Dachvariante	Länge	Höhe	Laderaumvolumen
Standard	Normaldach	L2	H1	9,5 m ³
Standard	Hochdach	L2	H2	11 m ³
Lang (XL)	Hochdach	L3	H2	14 m ³
Lang (XL)	Superhochdach	L3	H3	15,5 m ³
Extralang (XXL)	Hochdach	L4	H2	15,5 m ³
Extralang (XXL)	Superhochdach	L4	H3	17 m ³

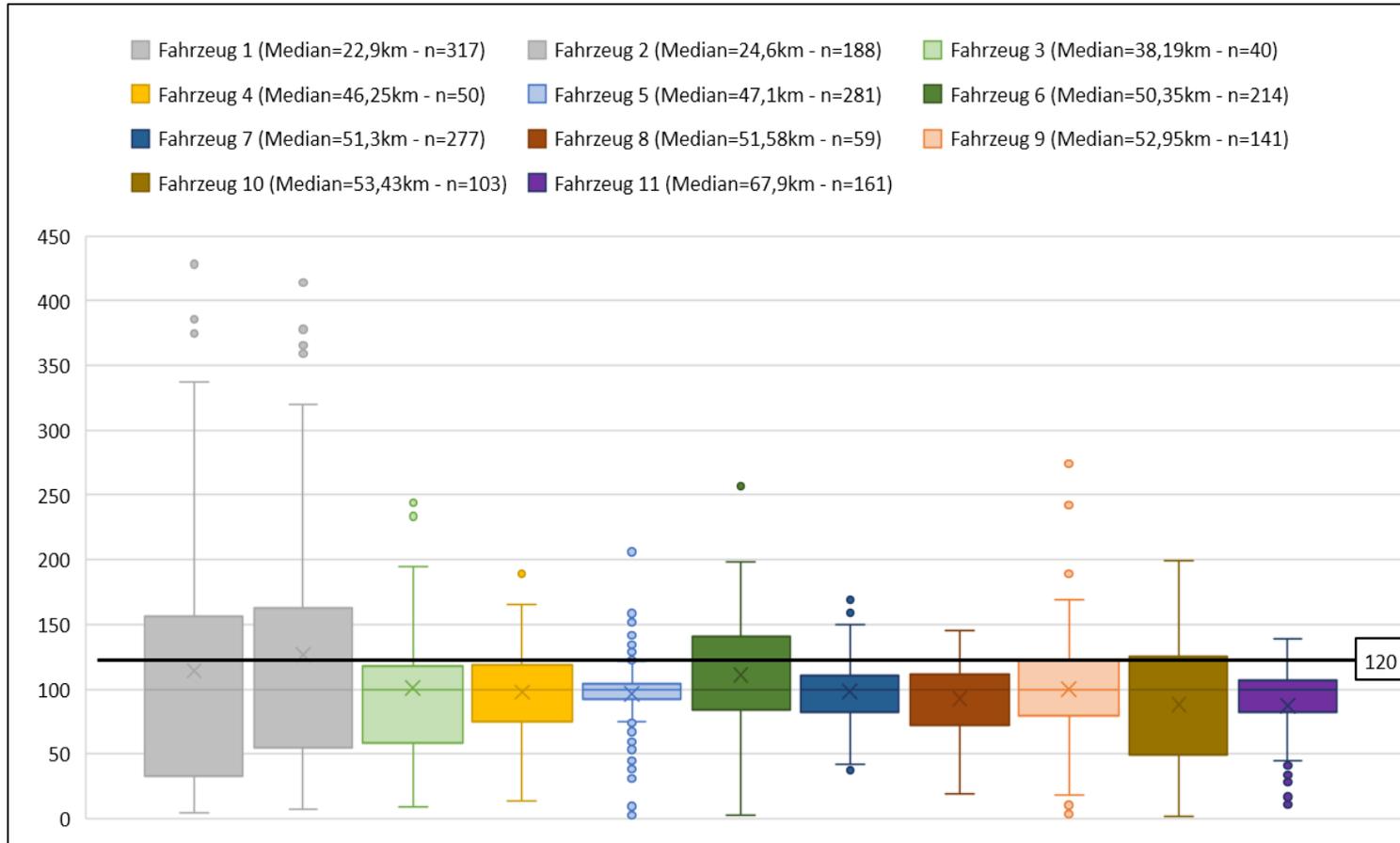
Sehr viele Stopps und/oder
geringe Stoppdichte
(Arbeitszeit = limitierender Faktor)

Große Paketmenge pro Stopp bzw.
in Summe großes Paketvolumen

→ aktuell größtes verfügbares Elektrofahrzeug des Segments der »großen Kleintransporter«

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Elektrifizierungspotenziale auf Tourenebene: Maßgebliche Kenngrößen – Tourenlänge



Bei den allermeisten Fahrzeugen überschreitet das dritte Quartil den Wert von 120% nicht, d.h. dass an 75% der Tage das 1,2-fache des Median nicht überschritten wurde.*

Faustformel:

Wenn $\bar{\varnothing}$ -Tourenlänge * 1,2
 $<$ (Normreichweite (NEFZ) – 20km)
 dann ist Tour elektrifizierbar.

*Die ausgegrauten Boxplots der Fahrzeuge 1 und 2 wurden hierbei nicht berücksichtigt, da diese aufgrund relativ vieler kurzer Fahrten (vergleichsweise niedriger Median der Tourenlänge) ein verzerrtes Bild liefern bzw. hier selbst ein Maximum, das um Faktor 4 größer ist als der Median, kaum ins Gewicht fallen würde.

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Wirtschaftlichkeit (auf Touren-/Fahrzeugebene) – Annahmen

- Total Cost of Ownership = Anschaffungskosten + alle Betriebskosten über die Nutzungsdauer
- Paarweise Gegenüberstellung von Elektrofahrzeug (BEV) und Verbrenner (ICEV) von 4 Modellen zur Identifizierung der Tourenlänge, ab welcher Elektrofahrzeuge wirtschaftlicher wären
- Sensitivitätsanalyse durch Variieren verschiedener Parameter bei folgenden Annahmen:
- Besonderheit: BEV sind bislang nur mit 3,5t zGG und Vollausstattung erhältlich – daher wurden zwei ICEV-Varianten betrachtet:
 - ICEV in vergleichbarer Ausstattung (3,5 t zGG und Automatikgetriebe)
 - ICEV »billig« / »KEP's choice« (abgelastet auf 2,8 t zGG und Schaltgetriebe)

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
ICEV: Anschaffungskosten netto [€]	60.000	40.000	40.000	40.000
ICEV »billig«: Anschaffungskosten netto [€]	-	35.500	34.000	34.000
ICEV: Verbrauch Diesel pro 100 km [l]	15	9,8	9,2	9,2
BEV: Anschaffungskosten netto [€]	87.000	54.000	54.000	61.000
BEV: Stromverbrauch pro 100 km [kWh]	62,00	29,06	33,90	34,80
BEV: elektrische Reichweite [km]	100	115	115	150

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Wirtschaftlichkeit (auf Touren-/Fahrzeugebene) – Annahmen / Sensitivitätsbetrachtung

- Ausgangsszenario
 - Betrachtung für eine Nutzungsdauer von 10 Jahren $\hat{=}$ Lebensdauer KEP-Fahrzeug
 - 260 Arbeitstage pro Jahr
 - Netto-Preise Kraftstoff: 0,92 € pro Liter Diesel /// 0,16 € pro kWh Ladestrom [exkl. Kosten für Aufbau & Betrieb LIS]
 - Jährliche Einsparungen bei BEV: 250 € KFZ-Steuer, 500 € Wartungs- und Verschleißkosten, 1.000 € KFZ-Versicherung*
- Nur 234 Arbeitstage (4,5 Tage pro Woche)
- Einfluss der Diesel- und Strompreise (Durchschnittspreise 2020 – 2029): 1,05 € pro Liter Diesel /// 0,20 € pro kWh Ladestrom
- Einfluss des Versicherungsvorteils geringer als angenommen
 - Ohne Versicherungsvorteil für BEV → Fixkosten BEV zzgl. 1.000 € pro Jahr
 - Versicherungsvorteil BEV beträgt nur 250€ pro Jahr → Fixkosten BEV zzgl. 750 € pro Jahr
 - Versicherungsvorteil BEV beträgt nur 500€ pro Jahr → Fixkosten BEV zzgl. 500 € pro Jahr
= ohne Versicherungsvorteil, dafür aber Kaufprämie in Höhe von 5.000€ (= 500€ Versicherungsvorteil über 10 Jahre)

*Versicherungsvorteil kann alternativ auch als Kaufprämie o.Ä. verstanden werden

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Beispielhafte Analyse ausgewählter Standorte (NEFZ 115km)

	Modell 3
ICEV: Anschaffungskosten netto [€]	40.000
ICEV »billig«: Anschaffungskosten netto [€]	34.000
ICEV: Verbrauch Diesel pro 100 km [l]	9,2
BEV: Anschaffungskosten netto [€]	54.000
BEV: Stromverbrauch pro 100 km [kWh]	33,90
BEV: elektrische Reichweite [km]	115

(immer bezogen auf alle regulären Touren)	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Standort 4	Standort 5
Anteil Touren elektrifizierbar (Maximum < 95km)	20,5%	30,3%	75,6%	68,7%	18,0%
Anteil Touren wirtschaftlich elektrifizierbar	20,5%	30,3%	68,9%	68,7%	18,0%
a) Bei 234 Arbeitstagen (4,5 Tage pro Woche)	20,5%	30,3%	68,9%	68,7%	18,0%
b) Mit günstigen Diesel-Preisen	20,5%	30,3%	68,9%	68,7%	18,0%
c) Ohne Versicherungsvorteil BEV (+1000€/ Jahr)	0,7%	0%	0%	1,2%	0%
d) Reduzierter Versicherungsvorteil BEV (+750€/ Jahr)	16,6%	18,0%	22,6%	30,1%	11,2%
e) Reduzierter Versicherungsvorteil BEV (+500€/ Jahr)	20,5%	29,5%	68,9%	66,3%	18,0%
f) Mit ICEV »billig« / »KEP's choice«	19,9%	26,2%	53,7%	47,0%	18,0%
g) a) + b) + f)	18,5%	25,4%	41,5%	34,9%	18,0%

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Beispielhafte Analyse ausgewählter Standorte (NEFZ 115km)

	Modell 3
ICEV: Anschaffungskosten netto [€]	40.000
ICEV »billig«: Anschaffungskosten netto [€]	34.000
ICEV: Verbrauch Diesel pro 100 km [l]	9,2
BEV: Anschaffungskosten netto [€]	54.000
BEV: Stromverbrauch pro 100 km [kWh]	33,90
BEV: elektrische Reichweite [km]	115

(immer bezogen auf alle regulären Touren)	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Standort 4	Standort 5
Anteil Touren elektrifizierbar (Maximum < 95km)	20,5%	30,3%	75,6%	68,7%	18,0%
Anteil Touren wirtschaftlich elektrifizierbar	20,5%	30,3%	68,9%	68,7%	18,0%
a) Bei 234 Arbeitstagen (4,5 Tage pro Woche)	20,5%	30,3%	≅ einer Differenz bei den Anschaffungskosten von 10.000 / 7.500 / 5.000 €	68,7%	18,0%
b) Mit günstigen Diesel-Preisen	20,5%	30,3%		68,7%	18,0%
c) Ohne Versicherungsvorteil BEV (+1000€/ Jahr)	0,7%	0%	0%	1,2%	0%
d) Reduzierter Versicherungsvorteil BEV (+750€/ Jahr)	16,6%	18,0%	22,6%	30,1%	11,2%
e) Reduzierter Versicherungsvorteil BEV (+500€/ Jahr)	20,5%	29,5%	68,9%	66,3%	18,0%
f) Mit ICEV »billig« / »KEP's choice«	19,9%	26,2%	53,7%	47,0%	18,0%
g) a) + b) + f)	18,5%	25,4%	41,5%	34,9%	18,0%

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

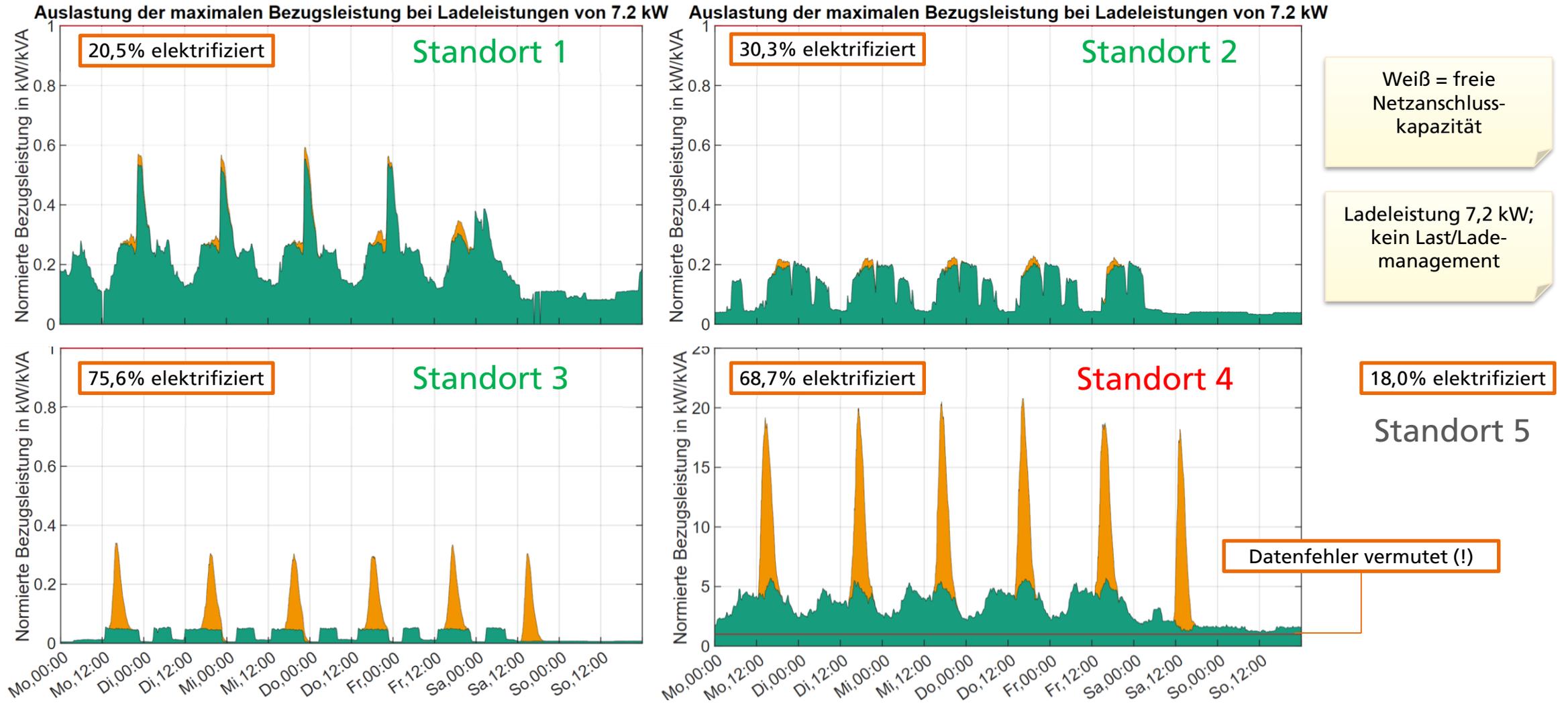
Beispielhafte Analyse ausgewählter Standorte (NEFZ 150km)

	Modell 4
ICEV: Anschaffungskosten netto [€]	40.000
ICEV »billig«: Anschaffungskosten netto [€]	34.000
ICEV: Verbrauch Diesel pro 100 km [l]	9,2
BEV: Anschaffungskosten netto [€]	61.000
BEV: Stromverbrauch pro 100 km [kWh]	34,80
BEV: elektrische Reichweite [km]	150

(immer bezogen auf alle regulären Touren)	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Standort 4	Standort 5
Anteil Touren elektrifizierbar (Maximum < 130km)	53,6%	58,2%	87,2%	91,6%	27,0%
Anteil Touren wirtschaftlich elektrifizierbar	51,0%	49,2%	40,2%	51,8%	23,6%
a) Bei 234 Arbeitstagen (4,5 Tage pro Woche)	49,0%	45,1%	29,9%	50,6%	19,1%
b) Mit günstigen Diesel-Preisen	49,0%	41,8%	27,4%	48,2%	18,0%
c) Ohne Versicherungsvorteil BEV (+1000€/ Jahr)	0%	0%	0%	0%	0%
d) Reduzierter Versicherungsvorteil BEV (+750€/ Jahr)	0%	0%	0%	0%	0%
e) Reduzierter Versicherungsvorteil BEV (+500€/ Jahr)	0,7%	0%	0,6%	0%	0%
f) Mit ICEV »billig« / »KEP's choice«	0%	0%	0%	0%	0%
g) a) + b) + f)	0%	0%	0%	0%	0%

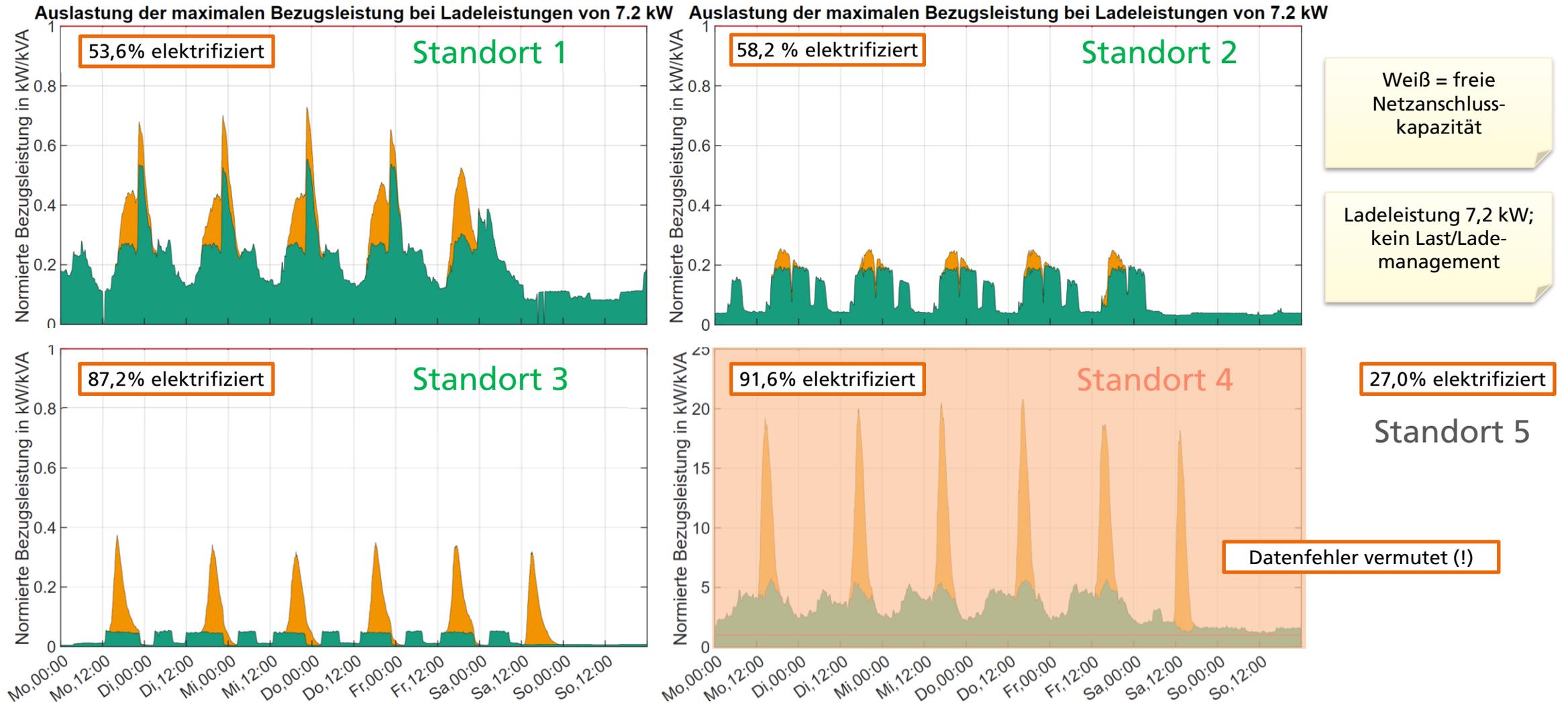
Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Beispielhafte Analyse ausgewählter Standorte – Energetische Ausstattung (NEFZ 115km)



Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Beispielhafte Analyse ausgewählter Standorte – Energetische Ausstattung (NEFZ 150km)



Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Technisch-organisatorische Rahmenbedingungen für die Einflottung von E-Fahrzeugen

Die Akteurskonstellation bestimmt den nächtlichen Stellplatz des Fahrzeugs.

Betreiber Betriebshof	Betreiber Fahrzeug	Stellplatz über Nacht
KEP	KEP	Betriebshof
KEP	KEP	Nähe Betriebshof (bspw. Straße im Industriegebiet)
KEP	SU	Betriebshof
KEP	SU	Nähe Betriebshof (bspw. Straße im Industriegebiet)
KEP	SU	Zuhause MA (mit Lademöglichkeit)
KEP	SU	Zuhause MA (ohne Lademöglichkeit)
SU	SU	Betriebshof
SU	SU	Nähe Betriebshof (bspw. Straße im Industriegebiet)
SU	SU	Zuhause MA (mit Lademöglichkeit)
SU	SU	Zuhause MA (ohne Lademöglichkeit)

Der nächtliche Stellplatz bestimmt die verfügbaren Ladeoptionen.

Normalladen am Betriebshof über Nacht	Schnellladen während Be-/Entladung am Betriebshof	Öffentliches Laden	Laden bei Zuhause des MA
Ja	Ja	Ja	Nein
Nein	Ja	Ja	Nein
Nein	Ja	Ja	Ja
Nein	Ja	Ja	Nein



Diese mit Abstand einfachste Lösung ist aus verschiedenen Gründen häufig nicht möglich!

Wenn SU-Fahrzeug am Betriebshof des KEP-Unternehmens geladen wird und der genutzte Ladestrom abgerechnet werden soll, müssen gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein (u.a. Eichrecht, Preisangabenverordnung, eindeutige Zuordnung zw. Fahrzeug (EMA-ID) und Ladevorgang).

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

Technisch-organisatorische Rahmenbedingungen für die Einflottung von E-Fahrzeugen

- Einfachste Lademöglichkeit: über Nacht am Betriebshof*
- Alternativen, wenn Fahrzeug über Nacht nicht am Betriebshof geparkt ist:
 - Schnellladen (mind. 50kW): morgens beim Beladen und abends beim Entladen* - möglicherweise mit **Aufpreis für DC-Schnellladefähigkeit der eingesetzten Fahrzeuge** verbunden
 - Öffentliches Laden: über Nacht an einer Normalladestation (≤ 22 kW Ladeleistung) am Straßenrand oder vor/nach Betriebsschluss an einer Schnellladestation (> 22 kW Ladeleistung) an einem Ladehub → bedeutet i.d.R. einen **Zusatzaufwand** für die Person, die das Fahrzeug fährt und entsprechend an der Ladestation abstellen und ggf. auch wieder abholen muss.
 - Heimpladen: Die Fahrzeuge werden von den Personen, die sie fahren, mit nach Hause genommen und dort geladen. Ausgehend von einer Batteriekapazität von 50 kWh und einer Standzeit von 12 Stunden wäre hierfür zwingend eine **Ladestation mit einer Ladeleistung von gut 4 kW nötig** – der Anschluss eines Notladegeräts an eine normale Schuko-Steckdose also i.d.R. nicht ausreichend.**

* Wenn SU-Fahrzeug am Betriebshof des KEP-Unternehmens geladen wird und der genutzte Ladestrom abgerechnet werden soll, müssen gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein (u.a. Eichrecht, Preisangabenverordnung, eindeutige Zuordnung zw. Fahrzeug (EMA-ID) und Ladevorgang).

** Eine Ladestation kann steuerfrei vom Arbeitgeber an den Arbeitnehmer verliehen oder (nicht steuerfrei) an den Arbeitnehmer übereignet werden. Die Kosten für den Ladestrom können als steuerfreier Auslagenersatz vom Arbeitgeber erstattet werden. Dabei können entweder die tatsächlich angefallenen Stromkosten (Mindestvoraussetzung: MID-konformer Stromzähler) oder eine monatl. Pauschale angesetzt werden. Weiterhin muss die Fahrt zum Betriebshof (»Fahrt zur ersten Arbeitsstätte«) als geldwerter Vorteil versteuert werden.

Simulation von Fahrprofilen & Bemessung Elektrifizierungspotenzial

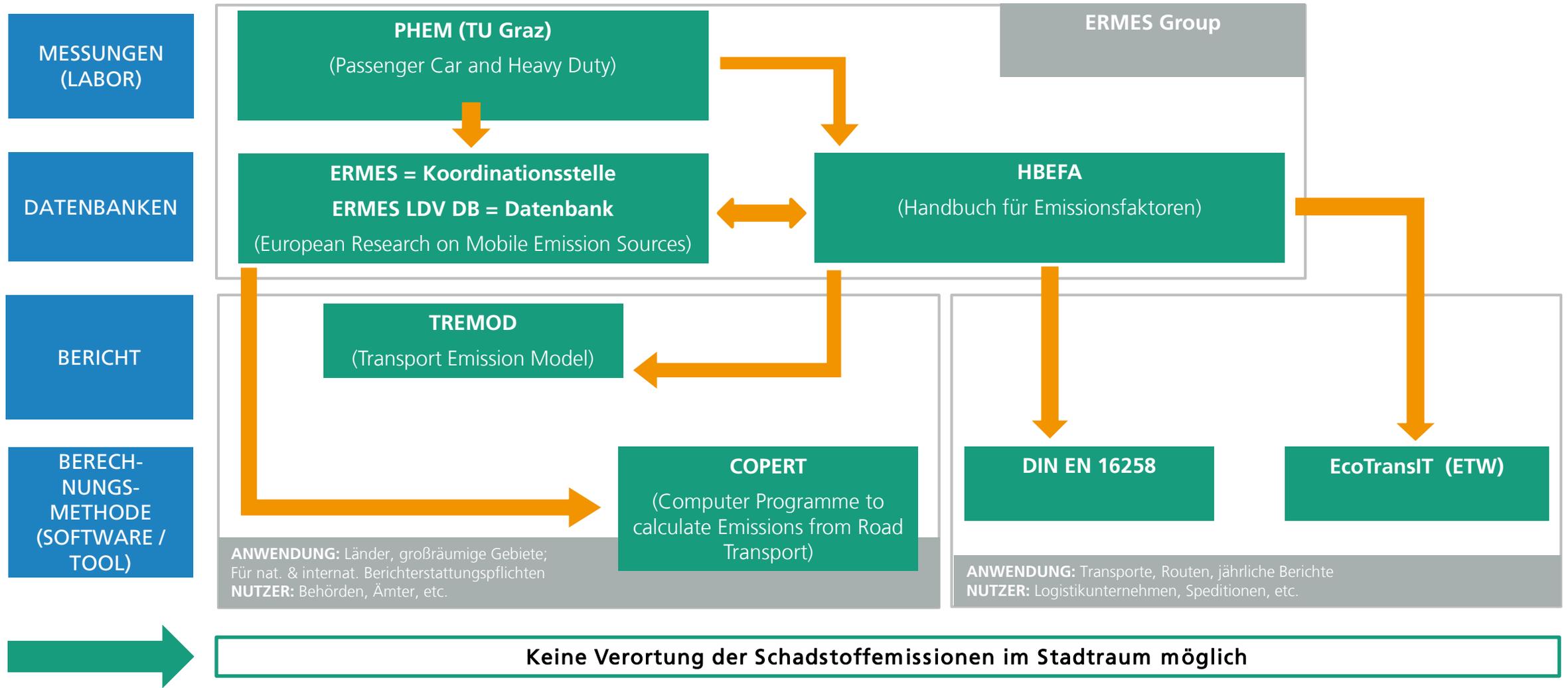
Fazit

Fahrzeugmodell NEFZ	Tourenlänge		Laderaumvolumen		Energetische Rahmenbedingungen		Techn.-organ. Rahmenbedingungen		Wirtschaftlichkeit	
	115 km	150 km	115 km	150 km	115 km	150 km	115 km	150 km	115 km	150 km
Standort 1	✗	✓	?		✓	✓	?		✓	✗
Standort 2	✗	✓	?		✓	✓	?		✓	✗
Standort 3	✓	✓	?		✓	✓	?		✓	✗
Standort 4	✓	✓	?		✗	✗	?		✓	✗
Standort 5	✗	✗	?		?	?	?		✓	✗

Eine erfolgreiche wirtschaftliche Elektrifizierung von KEP-Flotten ist möglich, muss aber immer vor dem Hintergrund verschiedener geschäftsmodell- und standortbezogener Faktoren betrachtet werden.

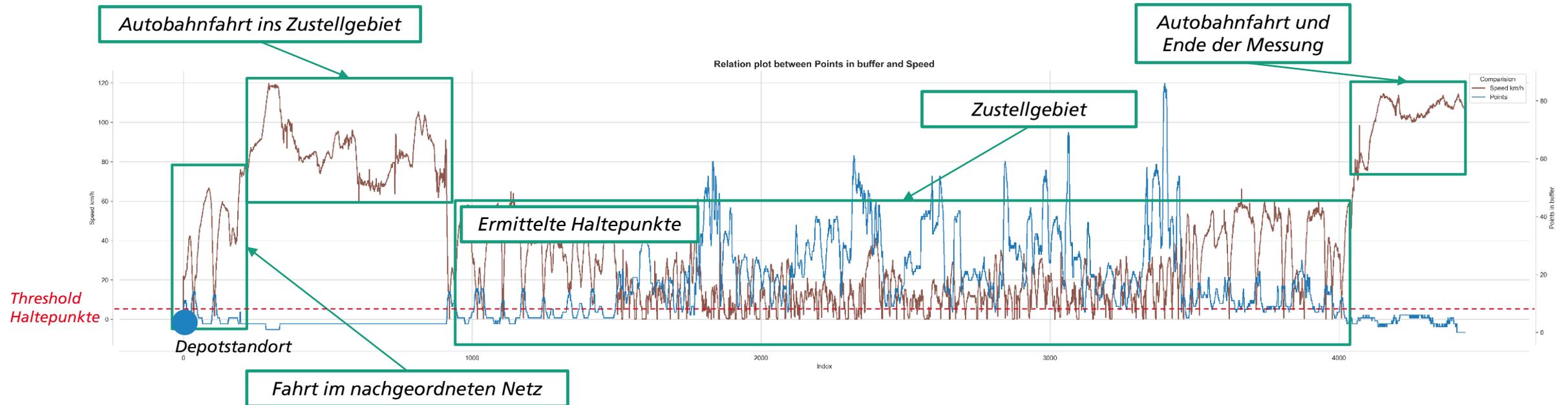
Berechnungsmethodik zum lokalen Schadstoffausstoß bei der Paketzustellung

Nationale und internationale Ansätze zur Abschätzung von Schadstoffemissionen



Berechnungsmethodik zum lokalen Schadstoffausstoß bei der Paketzustellung

GPS-basierte Abschätzung von Schadstoffemissionen



Aus den aufgenommenen Koordinaten lassen sich folgende Informationen ermitteln

- Gefahrene Strecke
- Fahrzeugzustände
 - Fahrt
 - Halt
 - Zustellung
 - Fahrzeugausrichtung
- Beschleunigung
- Verzögerung
- Steigung/Gefälle
- Straßenkategorie (Abfrage über hinterlegtes Kartenmaterial)



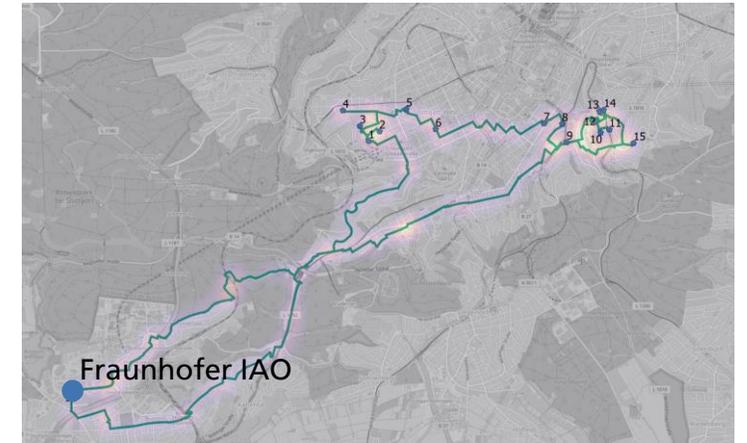
Bild: In Zustellfahrzeugen verbaute Datenlogger

Berechnungsmethodik zum lokalen Schadstoffausstoß bei der Paketzustellung

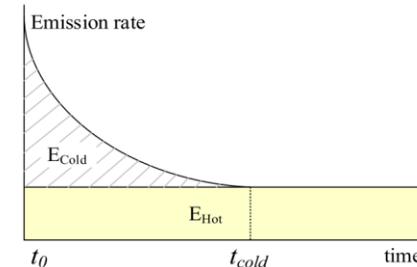
GPS-basierte Abschätzung von Schadstoffemissionen

Folgende Faktoren beeinflussen den Energieverbrauch zusätzlich:

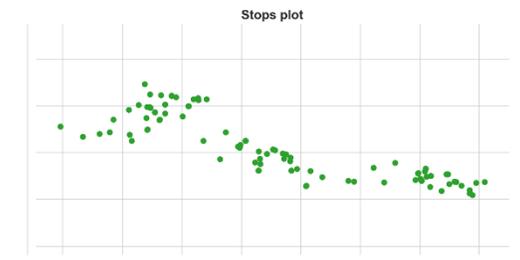
- Ladungsgewicht zum Zeitpunkt t_x wird modelliert
 - Annahme 80%ige Auslastung des Laderaumvolumens
 - Zustellung von Standardpaketgrößen
- Motorzustand (Kalt- oder Warmstart)
 - Wird anhand der gefahrenen Strecke, sowie der Umgebungstemperatur berechnet.
 - Bei Zustellstopps wird der Motor ausgeschaltet
- Umgebungstemperatur
 - Die Umgebungstemperatur wird über historische Wetterdatenbanken abgefragt



Exemplarische Darstellung der CO₂-Emissionen im Stadtgebiet (Synthetischer GPS-Track)



Heiß- und Kaltstartemissionen im Zeitverlauf



Identifizierte Haltepunkte

Überführen der ermittelten Werte in ein mikroskopisches Emissionsmodell (PHEM) zur Verortung der Tank-To-Wheel-Emissionen je Tourenabschnitt.

Kontaktieren Sie uns!

Ansprechpartner am Fraunhofer IAO



Felix Röckle

Mobility Ecosystems
Mobilitäts- und Innovationssysteme

Telefon +49 711 970-2365
felix.roeckle@iao.fraunhofer.de



Lars Mauch

Transport System Innovation

Telefon +49 711 970-2350
lars.mauch@iao.fraunhofer.de