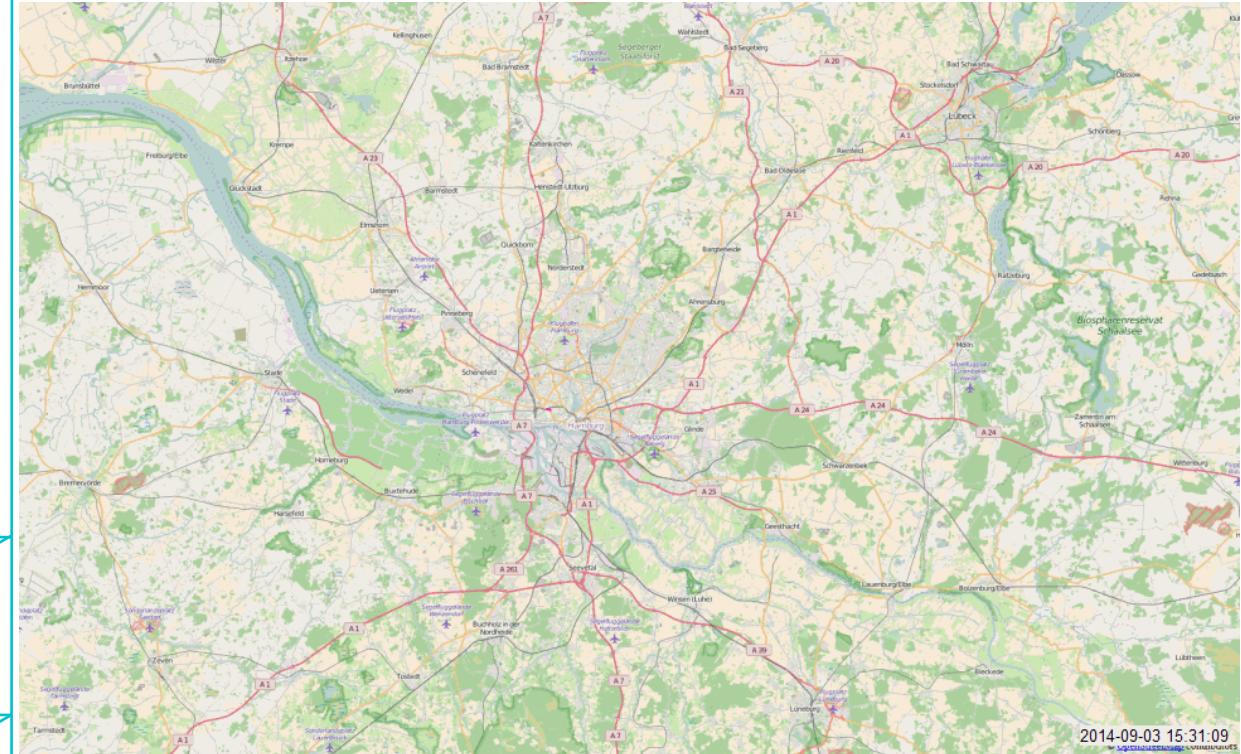


Chancen für die betriebliche Fuhrparkelektrifizierung

TUHH
Technische
Universität
Hamburg



*Fahrten des Hamburger Wirtschaftsverkehrs im Zeitraffer
(256.000 Fahrten mit 1,5 Mio. km)*



Institut für
Verkehrsplanung
und Logistik

Prof. Dr.-Ing. Heike Flämig

Fachtagung „Hamburg T.R.E.N.D.
Themenschwerpunkt „Karren und Karossen“
17.09.2024

Agenda:



Volvo FM Electric

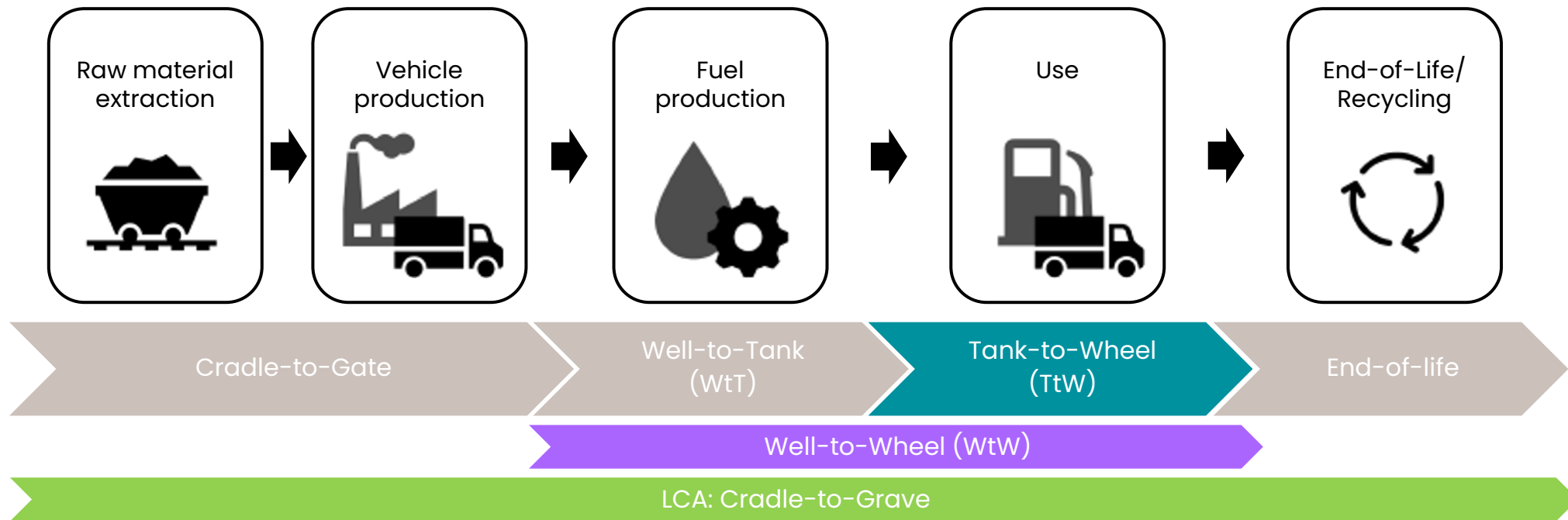


Volvo FM Diesel

- **Systemgrenzen** bestimmen die Bewertungsergebnisse einer Fuhrparkbilanzierung
- **Case Study zum Zwillingsvergleich Diesel-Lkw und BET** zeigt ...
 - ökologischen Vorteil der BET und individuelle Praxisfähigkeit auf
 - eine ökonomische Vorteilhaftigkeit von BET erst bei entsprechenden Strom- und CO₂-Preisen.
- **Ausblick**
 - Simulation: **elvea.tech**
 - Wirtschaft am Strom: mehr als Technik und €
- **Diskussionspunkte:** Chancen der betrieblichen Fuhrparkelektrifizierung



Systemgrenzen der Fahrzeug-Bilanzierung

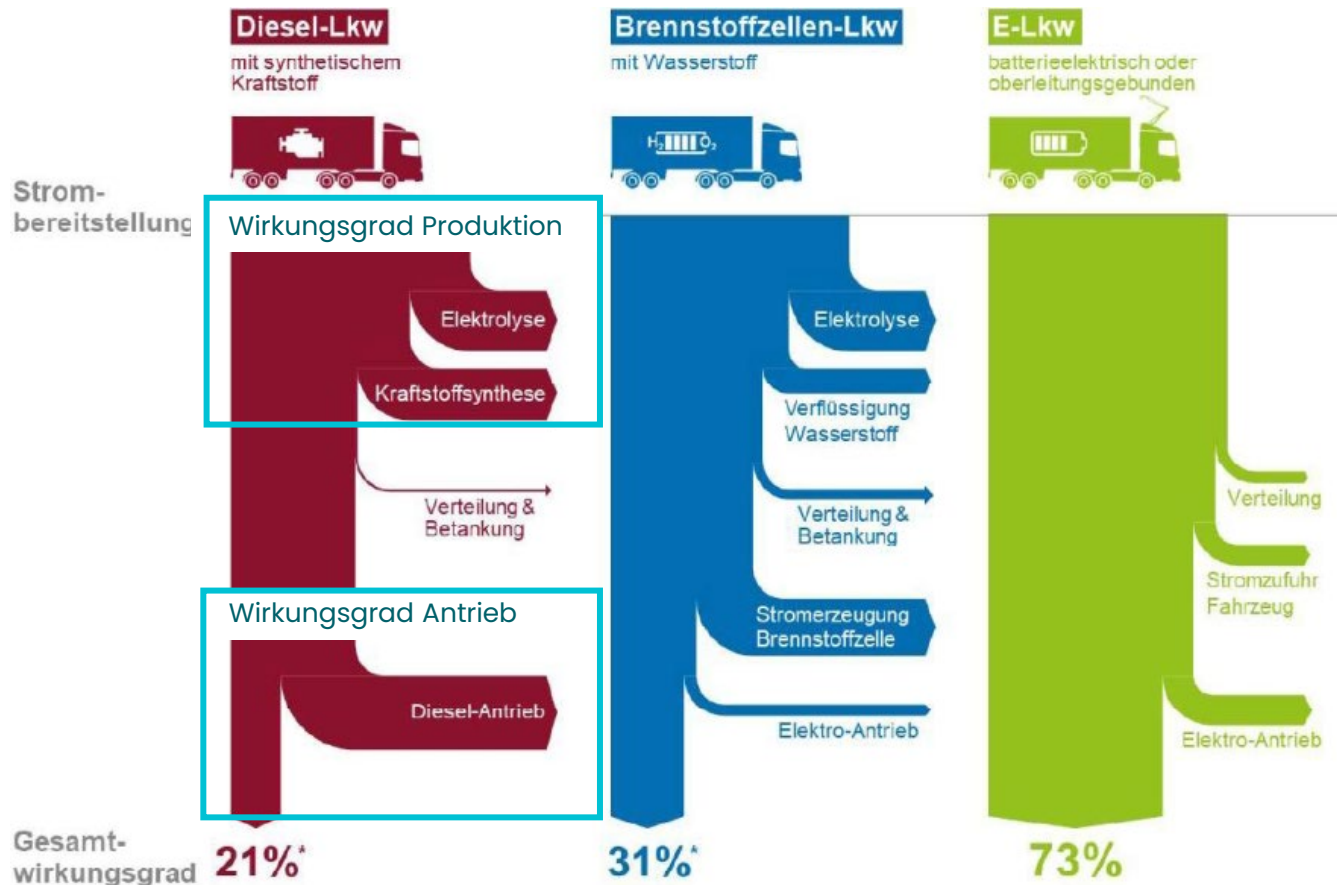


Well-to-Tank (WtT): Energiesektor

Tank-to-Wheel (WtW): Verkehrssektor

Cradle-to-Grave: Produkt-/Dienstleistungsperspektive (Scope 3)

Vergleich der Wirkungsgrade (W2W) verschiedener Energie- und Antriebssysteme



- Hohe Verluste in der Vorkette führen zu niedrigen Effizienzen.
- Dies führt zu hohen THG-Emissionen (W2W) je km.
- Insbesondere E-Fuels haben (noch) einen sehr schlechten Wirkungsgrad.
- **BET haben mit 73 % den WtW - energieeffizientesten Antriebsstrang.**
- Strombereitstellung neuer Kraftstoffe noch in der Entwicklung.
- Erneuerbarer Strom ist nicht unendlich verfügbar.

*bei Erschließung von Effizienzpotenzialen bei Elektrolyse, Kraftstoffsynthese und Brennstoffzelle

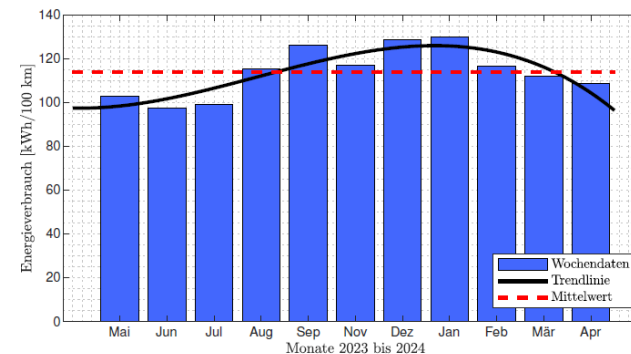
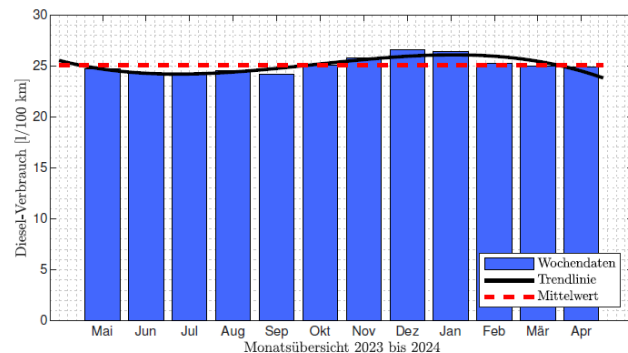
Quelle: ADAC (2023): Synthetische Kraftstoffe: Sind E-Fuels die Zukunft der Mobilität?

Case Study: Nord-Spedition GmbH & Co. KG

Zwillingsvergleich: Volvo FM Electric und FM Diesel



Model	FM 11 4x2	FM 42 Tractor Electric
Empty weight	Approx. 6150 kg	9920 kg
Permissible total weight	15.500 kg	18.000 kg
Permissible gross combination weight	39.000 kg	40.000 kg
Engine type	D11K410/420/430	3 electric motors
Engine power	410/420/430 PS	450-466 PS
Fuel	Diesel EN590	Electricity
Battery storage	-	450/540 kWh
Emission standard	EM-EU6	EM-ZE



Einsatz: **Flüssigkeitstransporte**

Fahrzeughaltedauer: **7 Jahre**

Kilometer pro Jahr: **130.000 km**

Durchschnittliche Verbräuche:

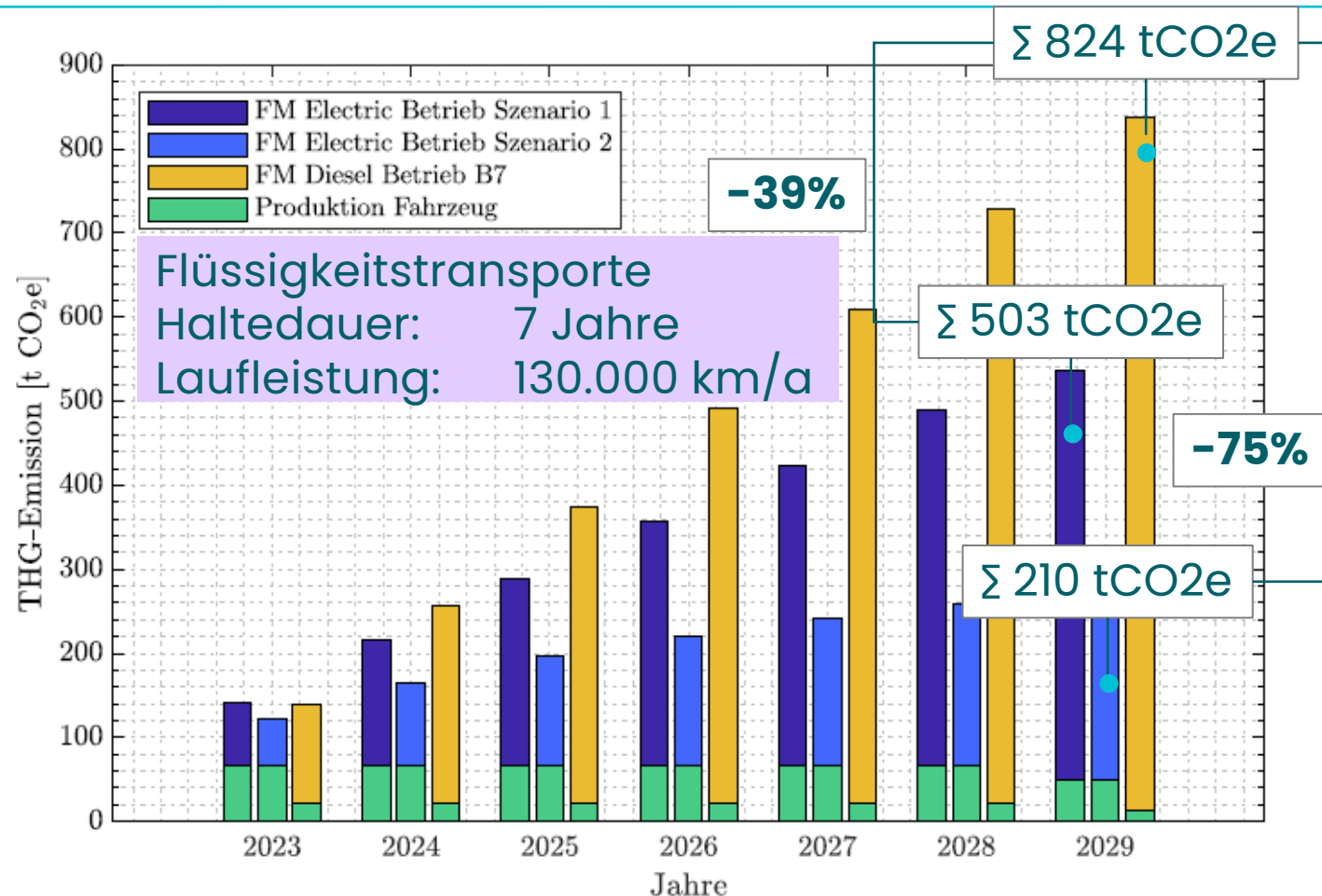
Diesel: **25,08 l/100 km**

BET: **113,91 kWh/100 km**

Die **Schwankung des Energiebedarfs** in Abhängigkeit von der **Außentemperatur** beträgt bei:

- BETs bis zu 30 %
- Diesel-Lkw bis zu 7 %

Case Study – Zwillingsvergleich: Kumulierte THG-Emissionen über durchschnittliche Nutzung (km, Jahre) der Lkw



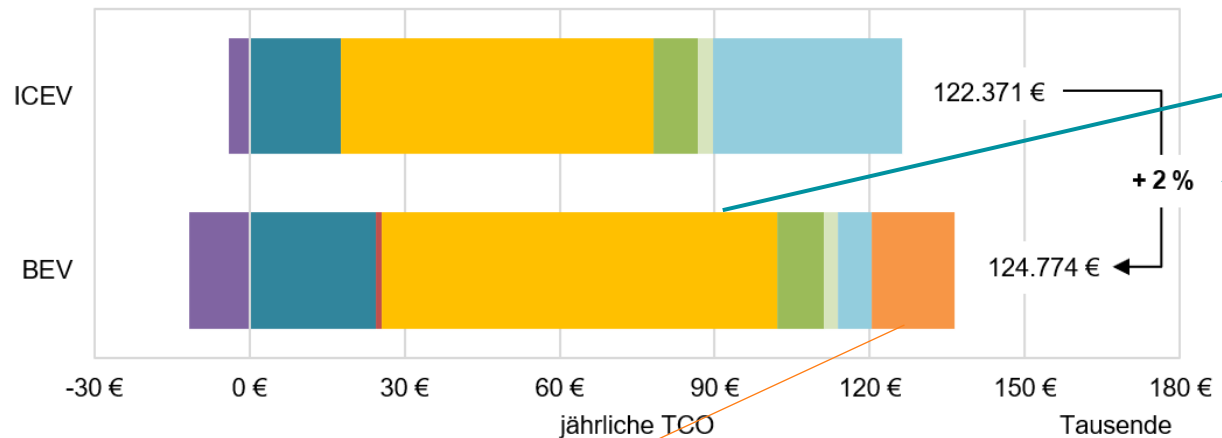
Stromszenarien:

Szenario 1 (Prognose): Prognose auf Basis historischer Daten mit exponentieller Glättung und Konfidenzintervalle (Konfidenzniveau von 0,95)

Szenario 2 (T45-Strom): Treibhausgasneutralität 2045 durch hohe Elektrifizierung des Energiesystems aufgrund starker politischer Maßnahmen

- **BET über Nutzungsdauer deutlich geringere CO₂e-Belastung** (Break-Even bei 97.000 km/139.000 km).
- Reduktion ggü. Diesel-Lkw nach 7 Jahren zwischen 39 % und 75 %.
- Der Strommix bei den BET hat großen Einfluss auf die Ergebnisse:
Ca.+ 57 % (TtW)
Ca.+ 52 % (LCA)

Case Study: TCO für das Nutzungsprofil – Momentaufnahme



Energiekosten machen den größten Kostenbestandteil aus.

BEV verursacht jährliche **Mehrkosten von knapp 2 %** (ca. 15.000 Euro über 7 Jahre)

- ⇒ **Preisentwicklung der CO₂-Zertifikate** führt zu einem prognostizierten Anstieg der Dieselpreise.
- ⇒ Ab dem **Jahr 2034** werden sinkende Strompreise erwartet, so dass dann ein Kostenvorteil für den BEV prognostiziert werden kann.

Case Study: Zeitkosten für ggf. notwendige Ladevorgänge



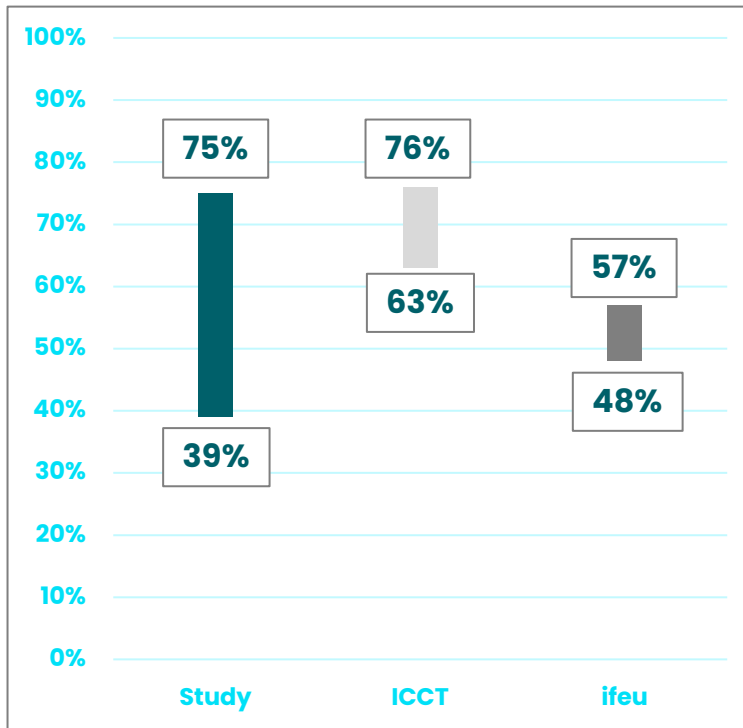
Sind beide Fahrzeugtechnologien gleichermaßen für den Praxiseinsatz geeignet?

mögliche Reichweite ➤ tägl. Fahrtstrecke → Nachladen über Nacht
mögliche Reichweite ◀ tägl. Fahrtstrecke → Fahrtunterbrechungen

- ~ 2 Batterieladungen pro Tag notwendig
- Schnellladen an DC-Ladesäule: 2,5 h
- Vorgeschriebene Lenkzeitunterbrechung von 45 min nach 4,5 h Fahrt
- **Zusätzliche Fahrtunterbrechung** für verbleibende Fahrt von **105 min** notwendig
- Deckungsbeitrag Speditionsbranche: 34€/h

Kennzahl	Wert
Angenommene Auslastung	85 %
Strecke pro Tag	488 km
Reichweite der Batterie	300 km
Jährliche Zeitkosten (BET)	16.065 €

Zusammenfassende ökologische und ökonomische Bewertung



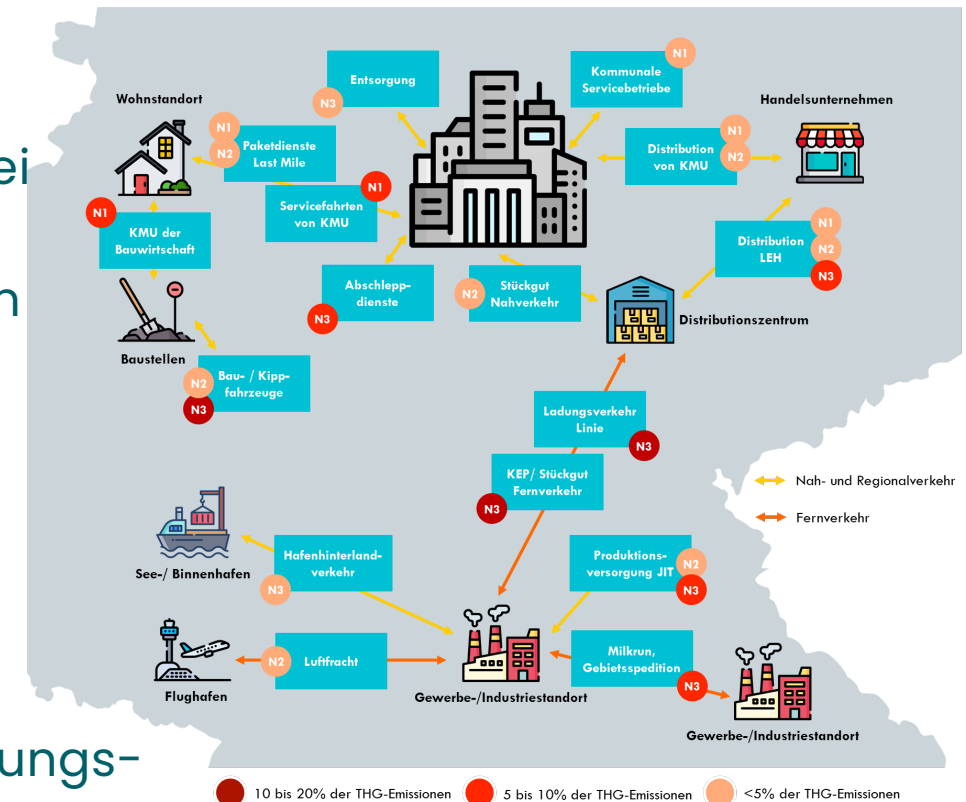
Ökologische Bewertung

- BET bessere CO2e-Bilanz.
- Große Einsparpotential bei Recycling (2. and 3. Life).
- Anteil regenerativer Strom

Ökonomische Bewertung

Hohe Abhängigkeit von

- Anschaffungskosten
- Zeitkosten/Reichweite
- Strom- und CO2-Preisen
- Bilanzierungs- und Handlungsnotwendigkeiten (CSRD)
- Nutzungsszenario und Einsatzprofil



Wirtschaft am Strom

Baukasten zum Erkenntnisgewinn

Analyse der
Umsetzungs-
bedingungen
(Planungsanalyse)



Wahrnehmung
von Mobilitätsalternativen
im Wirtschaftsverkehr
(Tiefeninterviews)



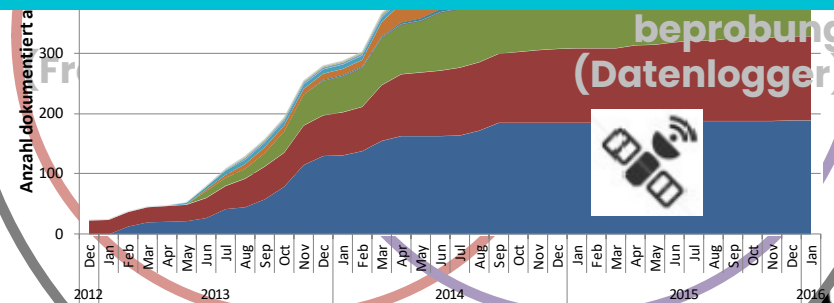
Flächennutzungsdaten



er

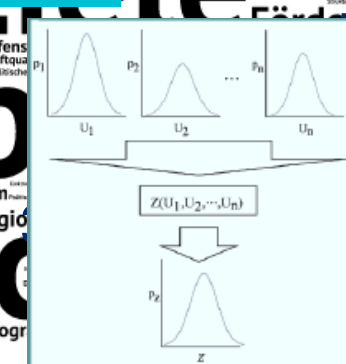
- ⇒ Transparenz über die konkrete Fahrzeug-/Fuhrparknutzung
- ⇒ Veränderungen der Mental-Maps (Entscheidenden, Nutzende)

795 Projektfahrzeuge
367 Unternehmen
24 Modelle
11 Hersteller



Fahrzeu-
gerfassung
(Fragebogen)

beprobung
(Datenlogger)



elvea.tech (eine Ausgründung der TUHH): Eine Simulation für alle Anwendungsfälle (Pkw, Lkw)



Alle auf dem deutschen Markt
verfügbaren BEV (zzt. ca. 430)



Fahrtenbücher

spiegeln die Anforderungen an
das Fahrzeug

Nutzung **von Routing-APIs** zur
Erstellung von Bewegungsprofilen

Für die Simulation werde daraus
auch abgeleitet:

- Zuladung,
- Straßenbelag,
- Temperatur (Jahreszeiten),
- usw.

Simulationen

Mathematisches Modell „Energieverbrauch“

für jedes individuelle BEV:
Empirische Gleichungsstruktur erzeugt anhand
der **Sensorik-Datenbank** mithilfe MATLAB /
Simulink Parameter Estimation und optimiert
mithilfe der Gradient Descent Methodik.

- Motorverluste
- Antriebsstrangverluste
- Leistung an den Rädern
- Gesamtleistung

Mathematisches Modell „Laden“

Lade-Datenbank kombiniert die **Ladesäulenkarte**
der Bundesnetzagentur und der privaten Datenbank
von **goingelectric.de** mit dem Ladeverhalten (inkl.
innerem Widerstand):

- Über 70.000 öffentliche Ladestationen
- Steckertypen
- Ladeleistungen [kW]
- Ladearten (DC, AC)
- Ladeverluste [kW]

- **Empfehlungen für routenintegriertes Laden an
öffentlichen Ladepunkten**

Ergebnis-Dashboard

Visualisierung der Ergebnisse

THG: Berechnet nach **DIN EN ISO 14083** in
tCO₂äq.

TCO: Berechnet nach der DIN Norm
60300-3-3 (VDI Standard).

Praxistauglichkeit:

- **Ist die Reichweite für das Bewegungsprofil
ausreichend?**
- **Sind öffentliche Ladungen notwendig?**
- **Kommt es im operativen Betrieb zu
Verzögerungen? Wie groß sind diese?**
- **Wie unterscheiden sich die Ergebnisse für
Sommer- und Winterzeiträume?**

Diskussionspunkte: Chancen der betrieblichen Fuhrparkelektrifizierung bestehen, wenn ...



1. Eine echte Nachhaltigkeitsstrategie denkt auch die Transport- und Verkehrsvermeidung mit (**Verkehrswende**).
2. Der nicht vermeidbare Verkehr braucht die konsequente technologische Weiterentwicklung der Fahrzeug- und Transportsysteme (**Antriebswende**).
3. Neben der Antriebswende der Fahrzeuge müssen geeignete Standorte (**Akzeptanz**) definiert, gefunden und konsequent elektrifiziert werden (**Netzsynergien**).
4. Nur die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen (**Energiewende**) reduziert die logistikbedingte Umweltnutzung substantiell.
5. Die Umsetzung wird nur bei einer **integrierten Planung und verlässlichen Umwelt-, Infrastruktur und Förderpolitik** unter Einbezug aller Stakeholder gelingen.

Mail: hannes-piepenbrink@tuhh.de
LinkedIn:



Mail: flaemig@tuhh.de
tuhh.de/vpl

Am Schwarzenberg-Campus 5
21073 Hamburg
Tel.: +49 40 42878-3905
www.tuhh.de



*Are you interested in discussing the topic further?
Do you also focus on BEV?
We would be happy to connect!*



Volvo FM Electric

NORD-SPEDITION
TANKLOGISTIK

www.nord-spedition.de
Haakon Dias Hansen

Bildquellen: Nord-Spedition GmbH & Co. KG (2023): Fuhrpark – Nord-Spedition GmbH & Co. KG.
<https://nord-spedition.de/fuhrpark>; <https://www.elvea.tech/>