

**Universität Stuttgart**

Institut für Energieübertragung und  
Hochspannungstechnik



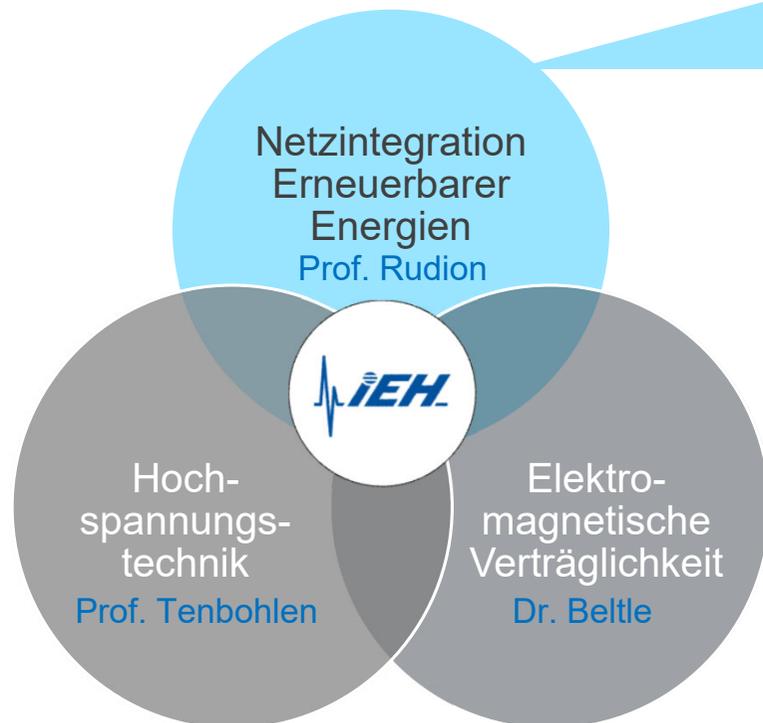
# Die große Welt der E-Mobilität

- Beispiele aus den aktuellen  
Projekten

Prof. Krzysztof Rudion

# Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH)

## Struktur des IEH



## Schwerpunkte der Netzgruppe

- Netzintegration von DEA, Lasten, Speichern, E-Mob
  - Neue Planungsmethoden
  - Netzmodellierung und -simulation
  - Flexibilitätsaggregation
  - Stabilitätsanalysen
- 
- Netzplanung
- Netzbetrieb
- Netzmonitoring
- Zustandsschätzung im Verteilnetz
  - Energiemanagement / Flex-Bereitstellung
  - Microgrids & virtuelle Kraftwerke
  - Koordination regelbarer Komponenten (RONT, PV, DSM)
  - Power Quality Analyse
  - Synchronisierte Messungen

## Aktivitäten am IEH im Bereich der Elektromobilität



Bid-E-V



TruckConnect



iLIME

# Veränderungen in der Stromversorgung in Deutschland

Durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer pro Kunde in Minuten



## Herausforderungen:



Weiterer Zubau **volatiler EE-Erzeugung**



**Abschaltung** konventioneller Kraftwerke



Gleichzeitig wachsende Zahl **neuer Verbraucher**

- Wärmepumpen
- E-Pkw
- E-Lkw

Langfristige Stromnetzplanung

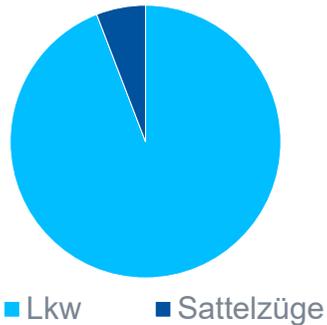
Optimierter Netzbetrieb

Energiebilanz: Last- und Erzeugungsprognosen

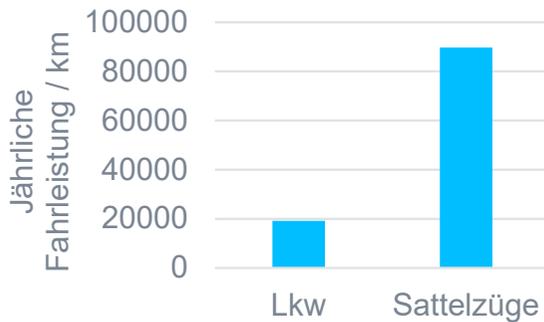
Systemdienstleistungen und Flexibilitäten

# Herausforderungen durch den Hochlauf an E-Lkw

Bestand an Lkw und Sattelzügen: 3.773.093



Durchschnittliche jährliche Fahrleistung / Fahrzeug



60 kWh / 100 km

11.520 kWh/Jahr

→ 3 x 4-Personen Haushalt



112 kWh / 100 km

100.464 kWh/Jahr

→ 25 x 4-Personen Haushalt

Rein energetische Hochrechnung für den Gesamtbestand:  
**+63 TWh/Jahr (+12%/Jahr\*)**  
 \*) angenommener Nettostromverbrauch in DE 2021: 508TWh

# Integration von E-Lkw in die Stromnetzplanung: Ausgangssituation



## Netzbetreiberperspektive

### Offene Fragen:

- Wann und wo laden die E-Lkw die Akkus?
- Wie lange wird es geladen?
- Welche Gleichzeitigkeit und Spitzenlast ist beim Laden zu erwarten?
- Wie lässt sich der Ladebedarf aus Erneuerbaren Energien decken?
- Entsteht durch E-Lkw ein neues Flexibilitätspotential?
- ...



## Logistikperspektive

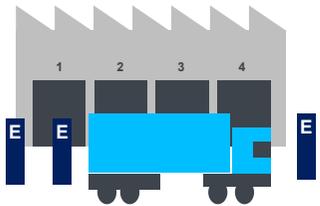
### Vorhandene Informationen:

- Transportaufgaben (Start- und Endpunkte sowie Routen)
- Fahrzeiten inkl. Lenk- und Pausenzeiten
- Fahrzeugflotte (E-Lkw Reichweite, Verbrauch, Ladeleistung, etc.)
- Der aktuelle SOC der Traktionsbatterie?

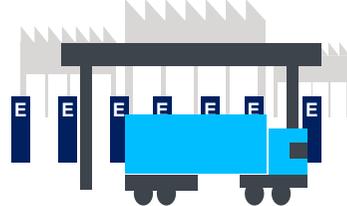
### Offene Fragen:

- Ladestandorte und zulässige Ladeleistung?
- Einfluss auf Logistikprozesse?
- ...

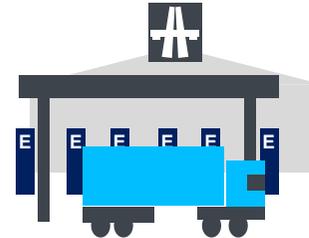
# Integration von E-Lkw in die Stromnetzplanung: Lösungsweg



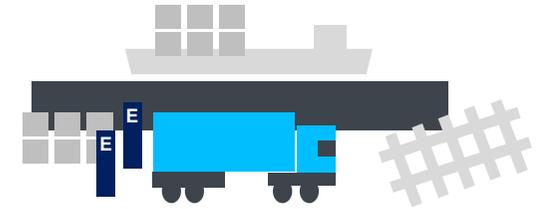
Eigenes / Fremdes Betriebsgelände



Laden in Gewerbegebieten



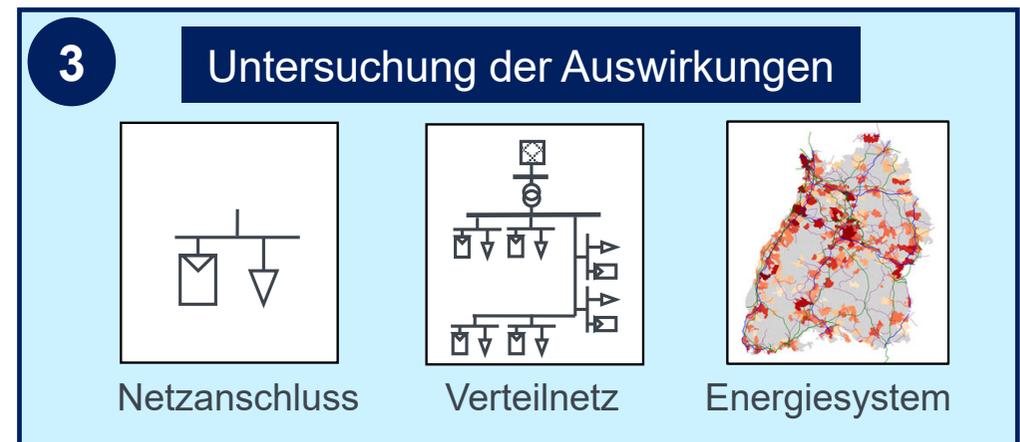
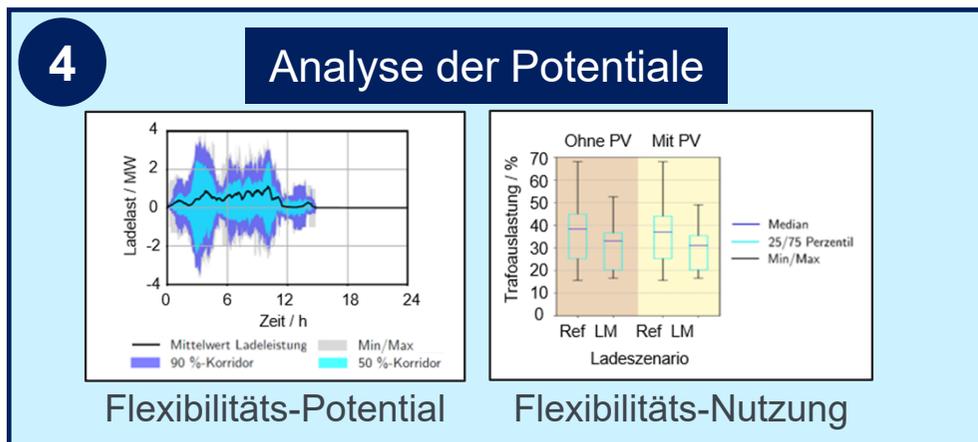
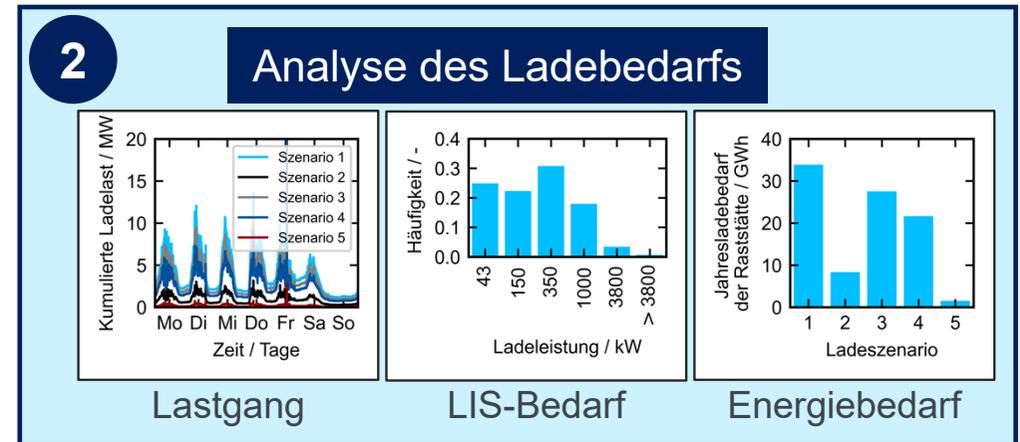
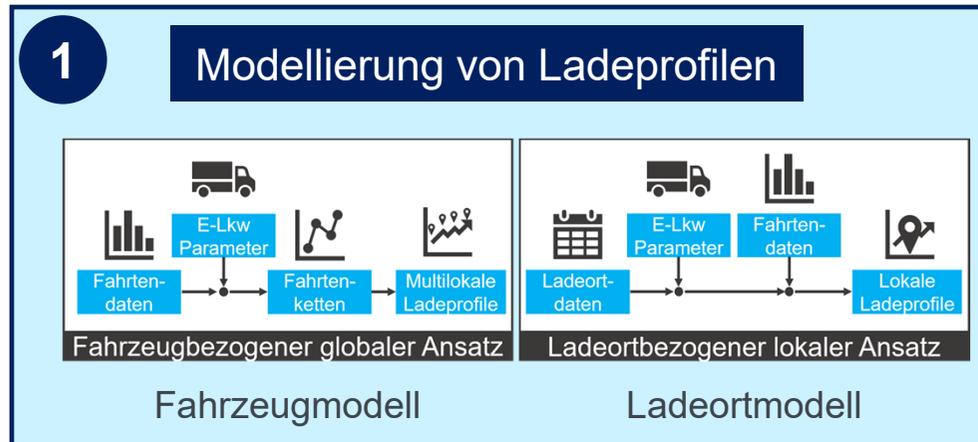
Laden an Verkehrsachsen



Laden an Umschlagpunkten



# Integration von E-Lkw in die Stromnetzplanung: Methodik



# Integration von E-Lkw in die Stromnetzplanung: Erkenntnisse

## Untersuchte Raststätte

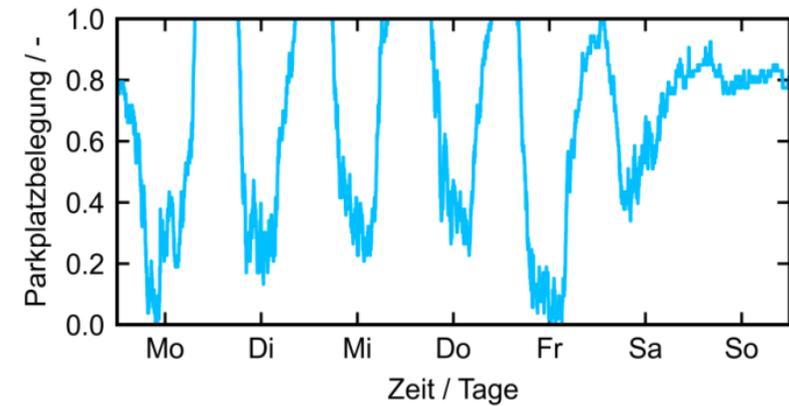


**Lage:** A9 zwischen Nürnberg und München

**Größe:** 53 Lkw Parkplätze

**Einordnung:** mittlere Parkplatzzahl

## Wochenverlauf der Lkw-Parkplatzbelegung



## Modellierte Ladeszenarien

Szenario	1	2	3	4	5
Ladeleistung $P_{ver}$ / kW	$\{P_{min}; 11; 22; 50; 150; 350; 1000; 3800\}$				
Strecke vor Ankunft $d_A$ / km	$R$	$R$	$R$	360	$d_{A,KiD}$
Strecke nach Abfahrt $d_D$ / km	$R$	$d_{D,KiD}$	360	360	$d_{D,KiD}$

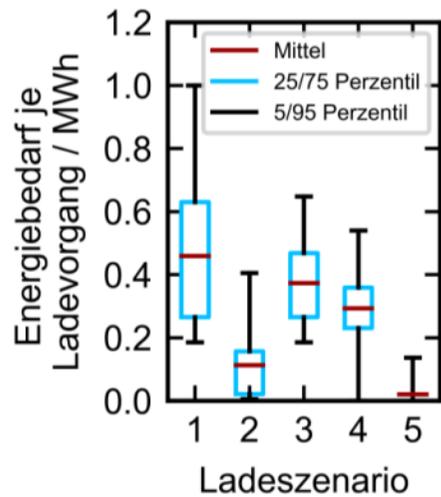
$R$ : Fahrzeugreichweite

$P_{min}$ : Minimal nötige Ladeleistung

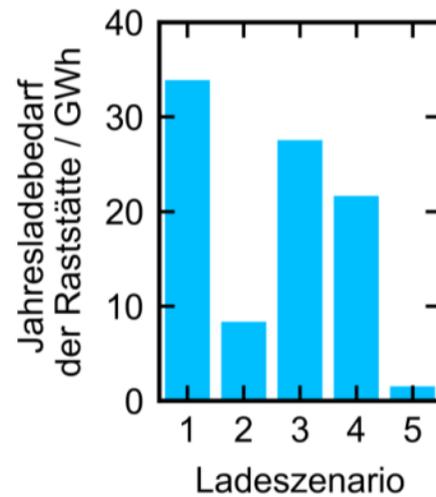
$d_{KiD}$ : Zufallsstrecke aus Fahrtenbuch

# Integration von E-Lkw in die Stromnetzplanung: Erkenntnisse

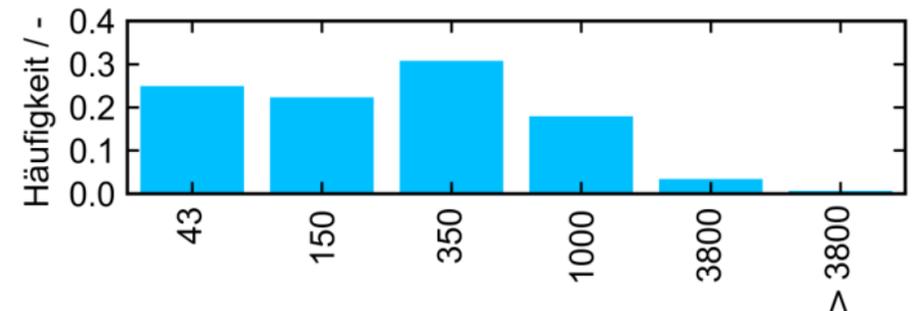
**Energiebedarf je Ladevorgang und Lkw**



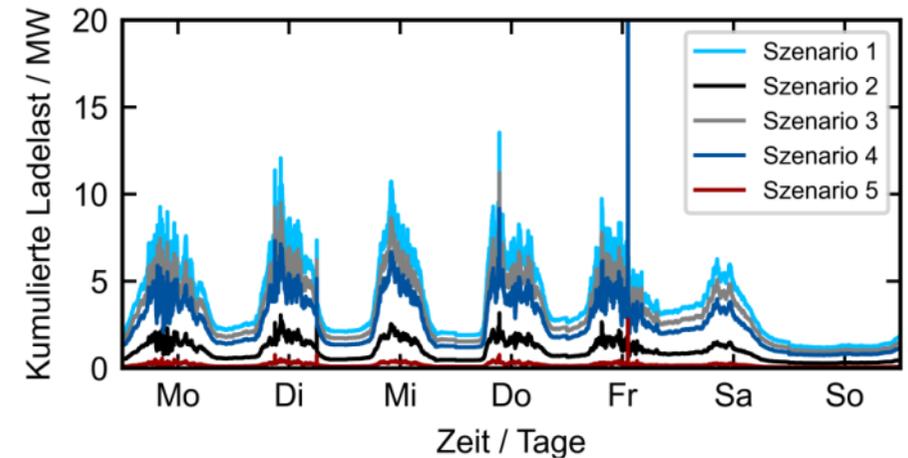
**Gesamtenergiebedarf durch E-Lkw-Laden**



**Ladeinfrastrukturbedarf in Szenario 4**



**Mittlerer Wochenlastgang beim Laden mit minimalem Ladeinfrastrukturbedarf**



**Zur Vertiefung:**

„Zeitreihenbasierte Modellierung des Ladebedarfs batterie-elektrischer Lkw für die probabilistische Netzplanung“

Kathrin Walz und Krzysztof Rudion  
VDE ETG Kongress, 2023, Kassel

# Flexible Energieversorgung von Logistikzentren



Gefördert durch:



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA  
UND ENERGIEWIRTSCHAFT

HÄFELE



Universität Stuttgart

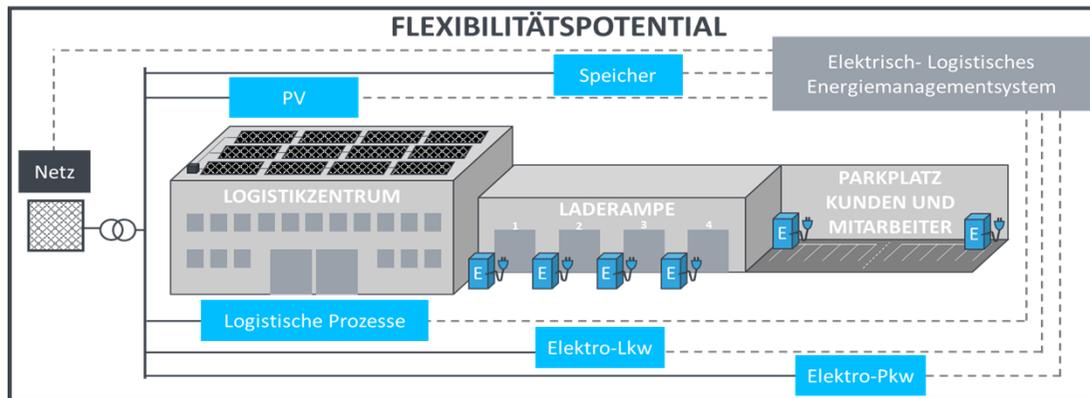
IEH IFT



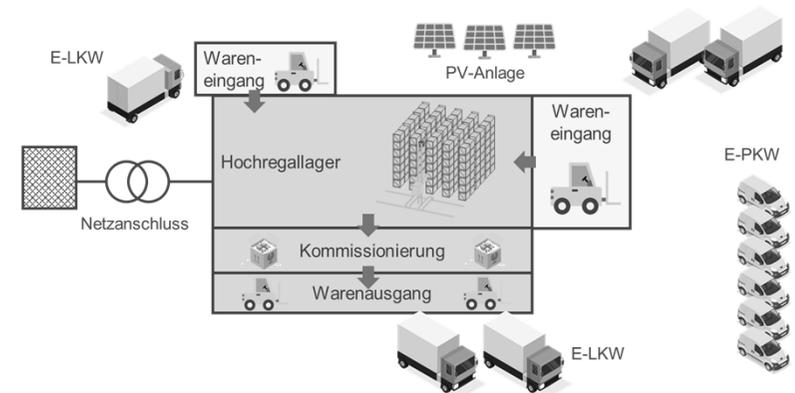
Netze BW

# Integration von E-Lkw in die Stromnetzplanung: Bisherige Erfahrungen

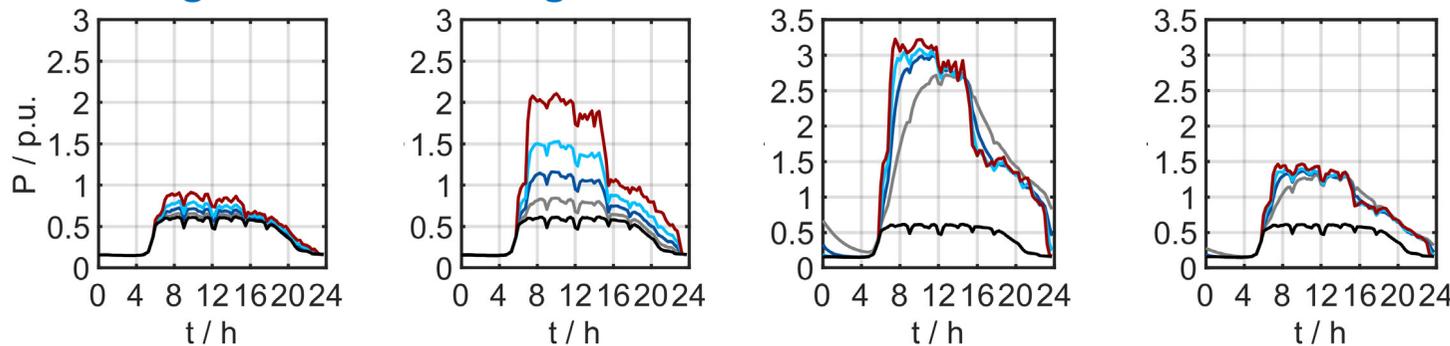
**Ziel:** Bestimmung des Flexibilitätspotentials eines Logistikzentrums unter Berücksichtigung von Elektromobilität



## Gekoppeltes Modell (Stromnetz + Logistik)



## Erhöhung der Last des Logistikzentrums durch E-Lkw-Laden



— 50 kW Charging — 150 kW Charging  
 — 350 kW Charging — 1000 kW Charging  
 — Logistics Center

a) **Geringe** logistische Auslastung

b) **Hohe** logistische Auslastung

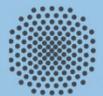
c) **Hohe** logistische Auslastung, **Vollladen**

d) **Hohe** logistische Auslastung, **Bedarfsladen**

# Netzintegration von E-LKW in urbanen Gewerbegebieten



Gefördert durch:



Universität Stuttgart



*Emons*

RHENUS  
HIGH TECH

GLS

STUTTGART  
NETZE

Netze BW

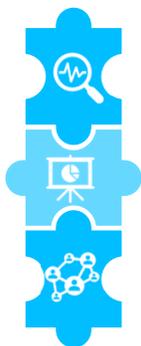
SmartGridsBW  
Energien intelligent vernetzen.



# REALIST: Reallabor zur beschleunigten Elektrifizierung des urbanen Logistikverkehrs in Stuttgart



Eine Beschleunigung des Hochlaufs der nachhaltigen **Elektrifizierung** des urbanen **Logistikverkehrs** in Stuttgart.



**Reallabor:** Praxiseinsatz von E-LKW im Raum Stuttgart

**Machbarkeitsanalyse:** Stromversorgungs- und Logistikkonzepte entwickeln

**Go-To-Market:** Beschleunigung der Transformation



## Reallabor – die Partner

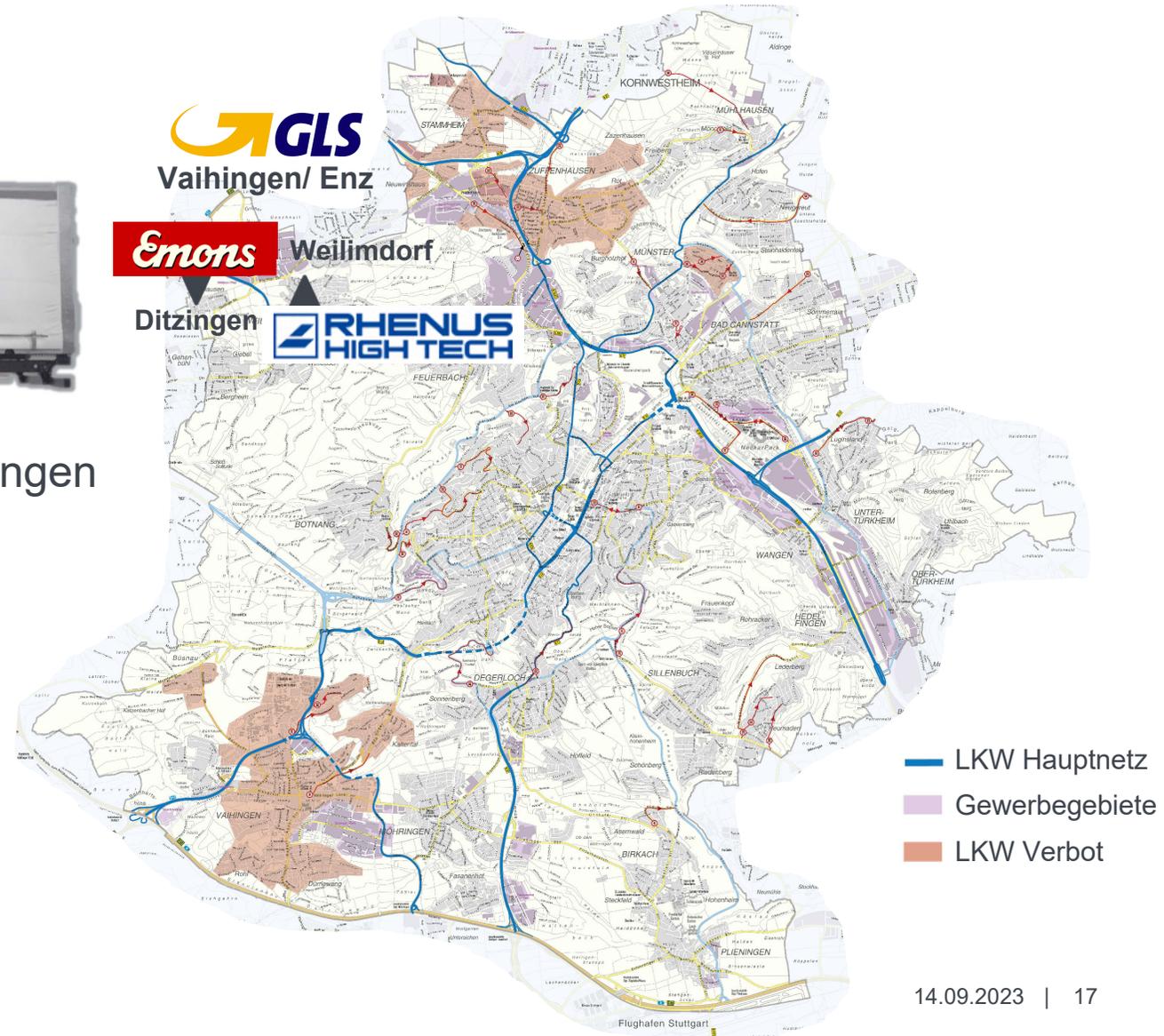
3 x



Übernehmen Stadtbelieferungen  
für **zwei** Jahre!

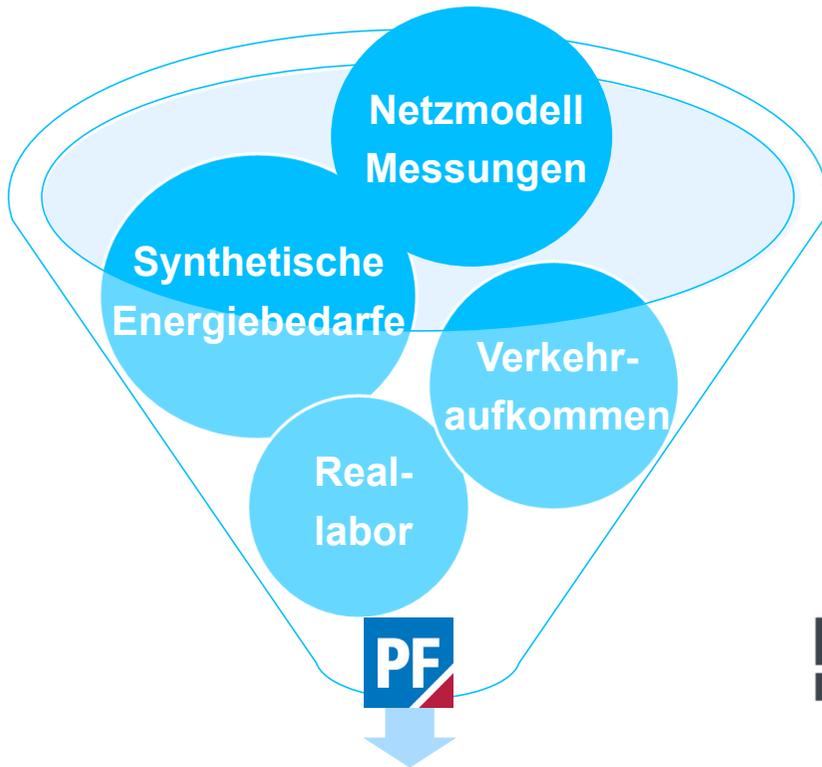
### Unternehmen

1. Emons Transporte GmbH
2. Rhenus High Tech GmbH
3. GLS mit Quickly Transporte GmbH

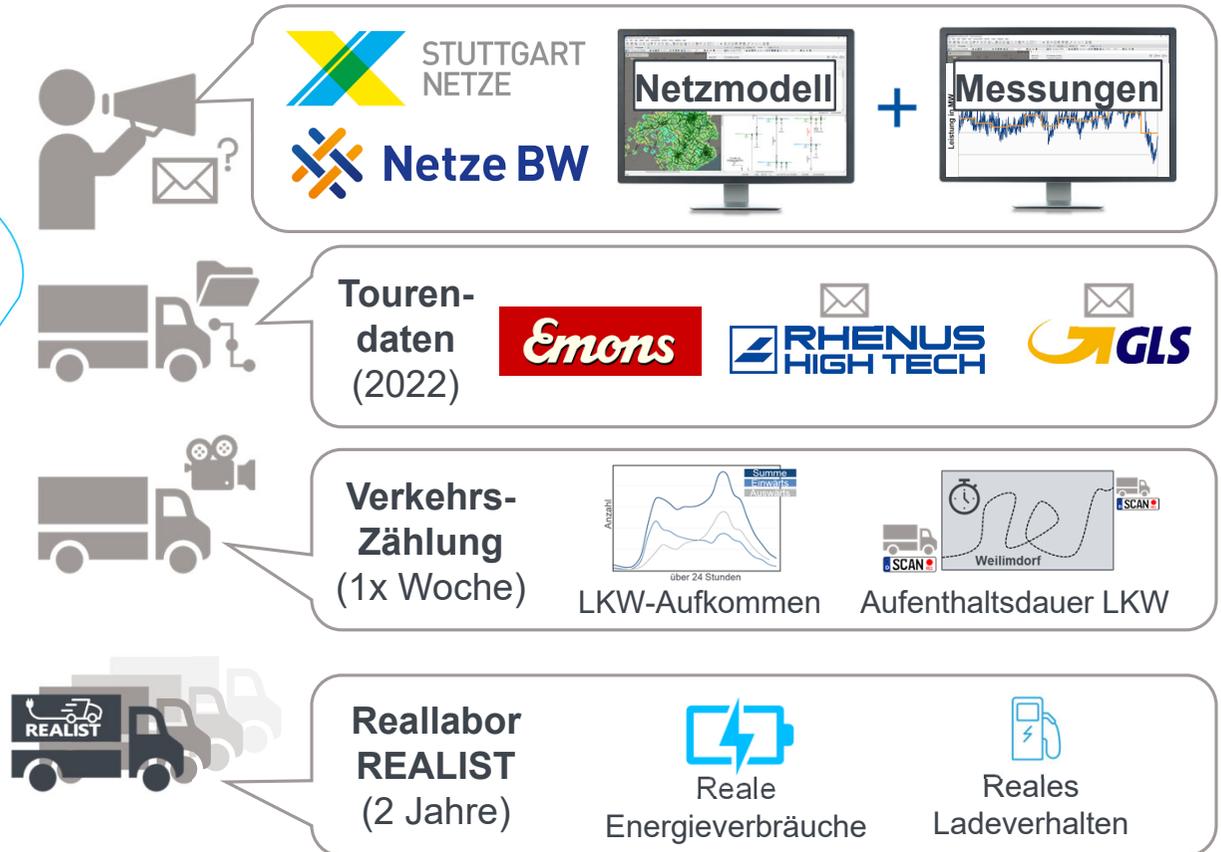




# Machbarkeitsanalyse – Entwicklung Systemmodell

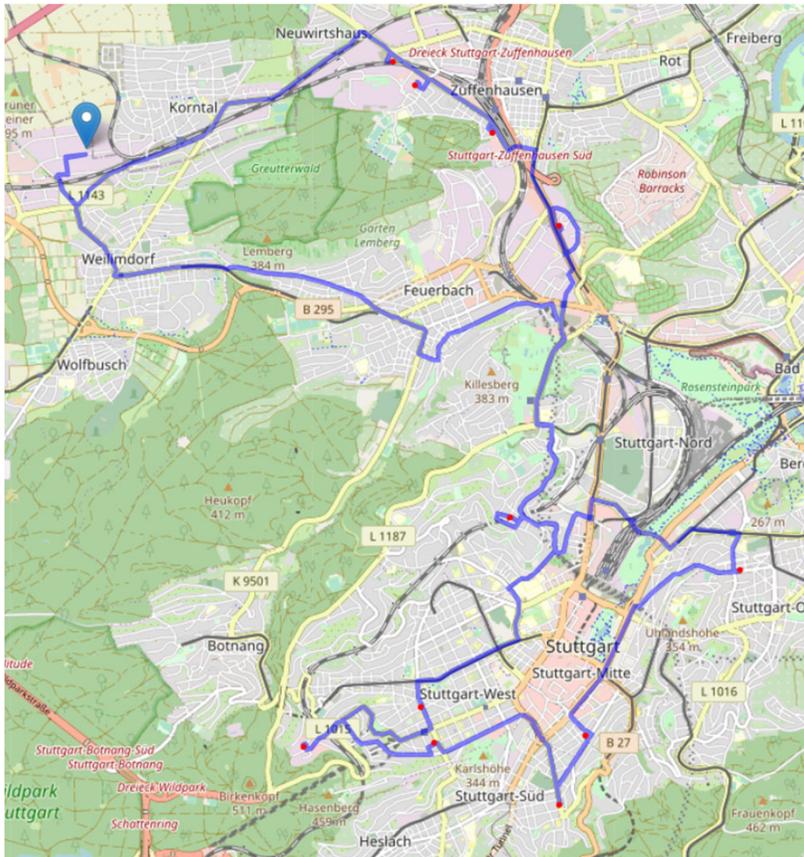


**Rechenfähiges Netzmodell unter Berücksichtigung von E-Mobilität**





# Was bringt die Kopplung zwischen Logistik und Stromversorgung?



Wann sind LKW unterwegs?

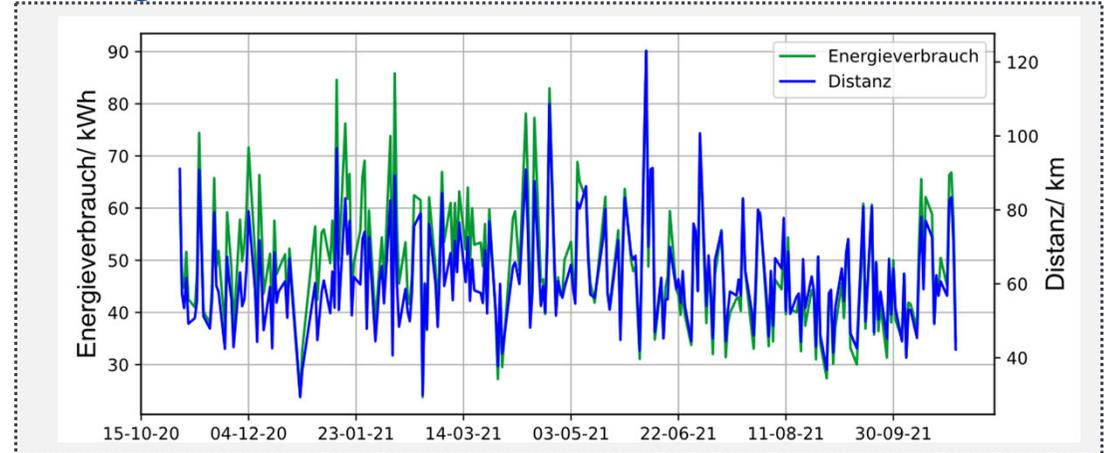


Welche Strecken fahren LKW?



Wie groß ist der Energiebedarf?

## Energiebedarf eines E-LKW über ein Jahr



# Parkraumbeteiligung an der marktbasieren Flexibilitätsbereitstellung zur Netzstabilisierung bei steigender Integration von erneuerbaren Energien



Gefördert durch:



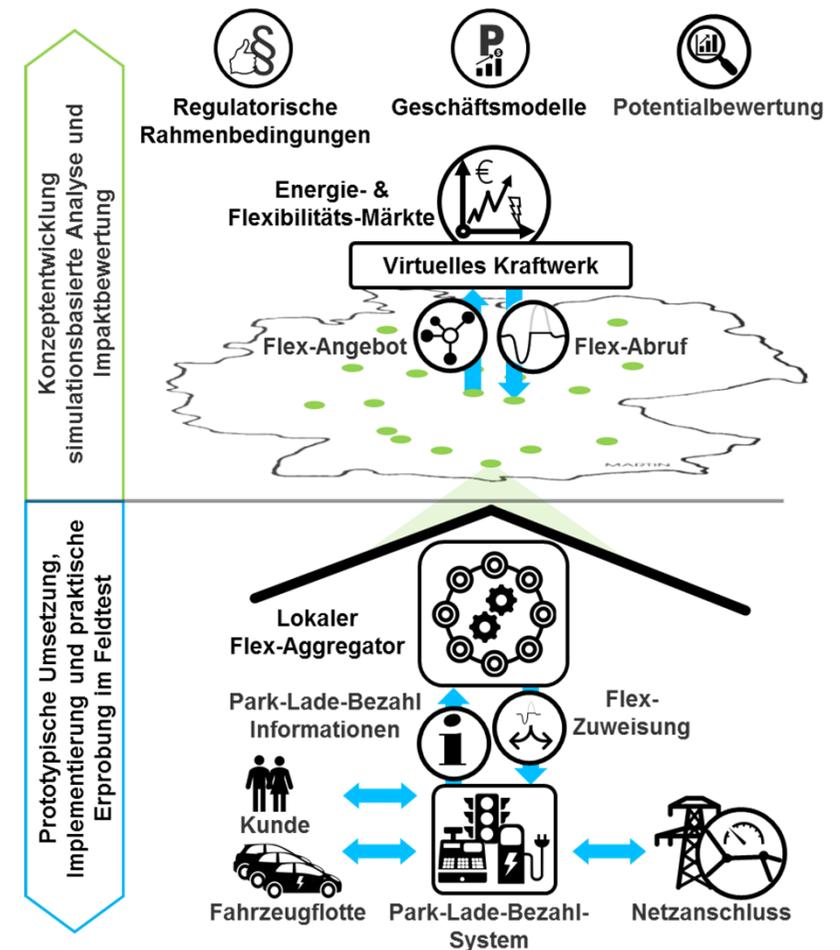
# Worum geht es im P4F? – Ausgangssituation und Idee

## Status Quo:

- Nur die fünf größten Parkraumbetreiber in Deutschland besitzen ca. 440.000 Stellplätze.
- Bei einer Ladeleistung von 11 kW pro Stellplatz ergibt das theoretisch einen Leistungshub von 10 GW (+/- 5 GW)

## Ziel:

- Wie kann **Flexibilität** aus den in den **konzentrierten Parkräumen (bidirektional)** ladenden Elektrofahrzeugen **aggregiert** und **marktbasiert zur Stützung des Netzbetriebs** bereitgestellt werden?



# Barrierefreie und nutzerfreundliche Lademöglichkeiten schaffen



BANULA

Gefördert durch:

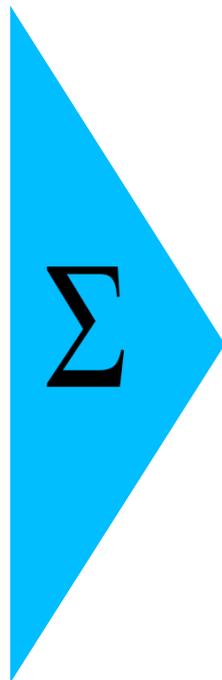
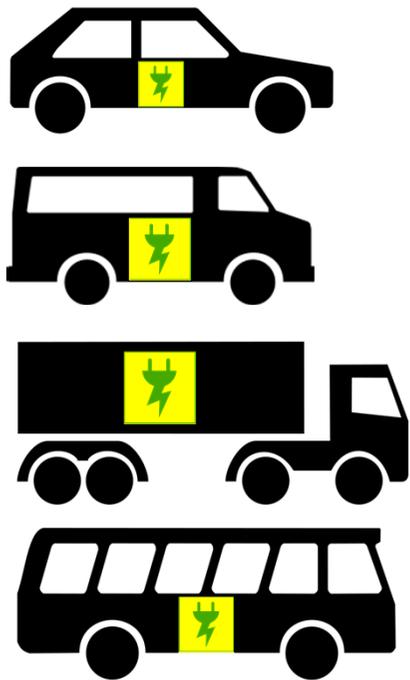


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

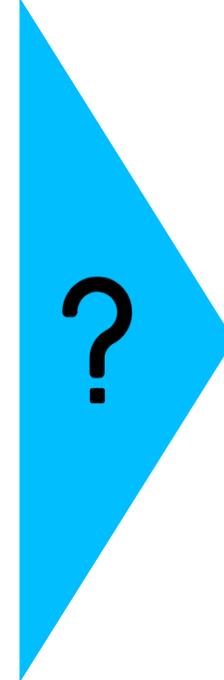
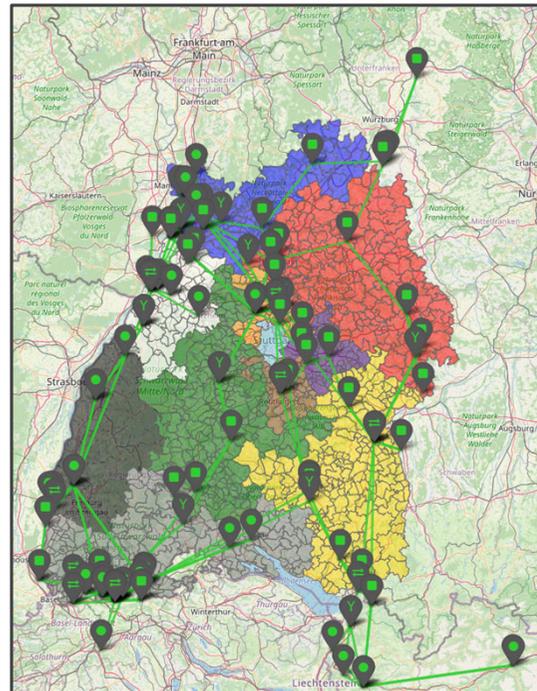


# Wie wirkt sich die E-Mobilität auf das Übertragungsnetz aus?

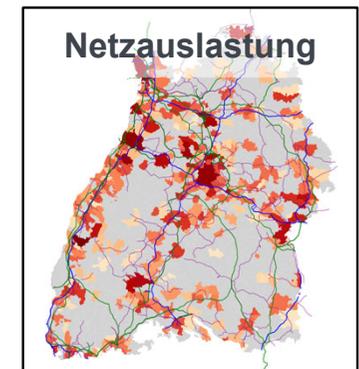
## Ganzheitliche Betrachtung der E-Mobilität



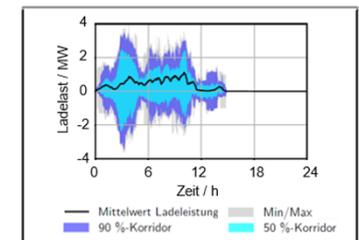
## Modell der Regelzone von TransnetBW



## Effekt- und Potenzialanalyse



## Flexibilitätspotenzial





**Universität Stuttgart**

Institut für Energieübertragung und  
Hochspannungstechnik

**Vielen Dank!**



**Prof. Dr.-Ing. habil. Krzysztof Rudion**

E-Mail: [rudion@ieh.uni-stuttgart.de](mailto:rudion@ieh.uni-stuttgart.de)  
[www.ieh.uni-stuttgart.de](http://www.ieh.uni-stuttgart.de)

Universität Stuttgart  
Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik  
Pfaffenwaldring 47  
70569 Stuttgart



**Kathrin Walz**



**Nelly-Lee Fischer**



**Charlotte Wagner**



**Jonas Graf**



**Stefan Köbel**



**Kevin Kratz**



**Henrik Wissel**