



# FreeE-Bus

## 3.1 FHV-Lastmanagement - Verbrauchsmodellierung

3. Workshop, 21.01.2026

Kevin Kaspar

Forschungszentrum Energie

FHV Vorarlberg University of Applied Sciences

# Agenda - FHV-Lastmanagement

## 3.1 Verbrauchsmodellierung (Kevin Kaspar)

- a) Ladesimulation - Vorarlberger Verkehrsverbund
- b) Ladesimulation - Verkehrsbetriebe Zürich

## 3.2 Datenstruktur (Dominik Bauer)

## 3.3 Optimierung Allgemein (Klaus Rheinberger)

## 3.4 Heuristische Optimierung (Dominik Bauer)

## 3.5 Lineare Optimierung (Klaus Rheinberger)

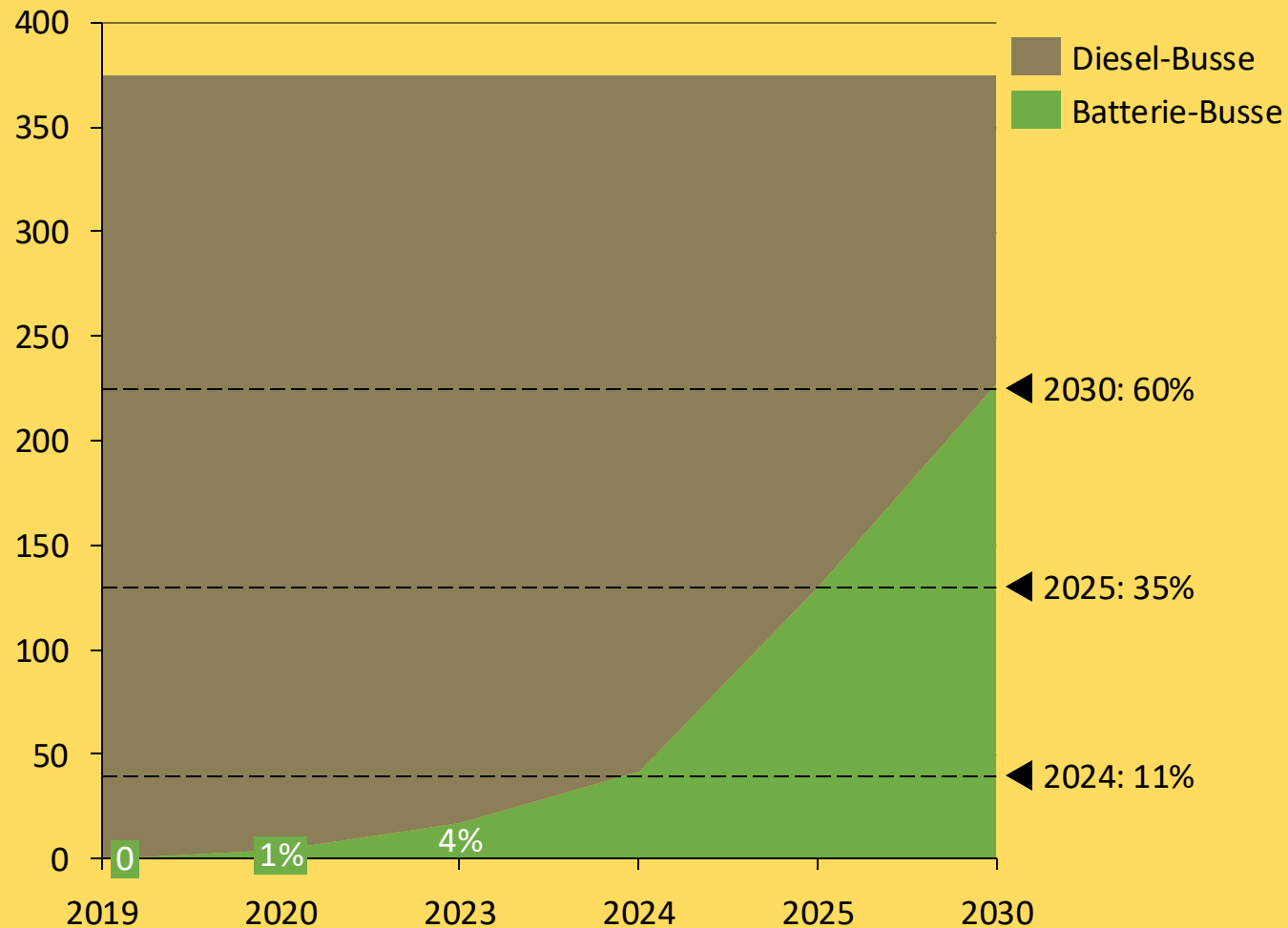
## 3.6 Robuste Optimierung (Florian Knolle)



# Verkehrsverbund Vorarlberg

## Busflotten-Elektrifizierungsplan 2019 - 2030

Fahrzeuganteil

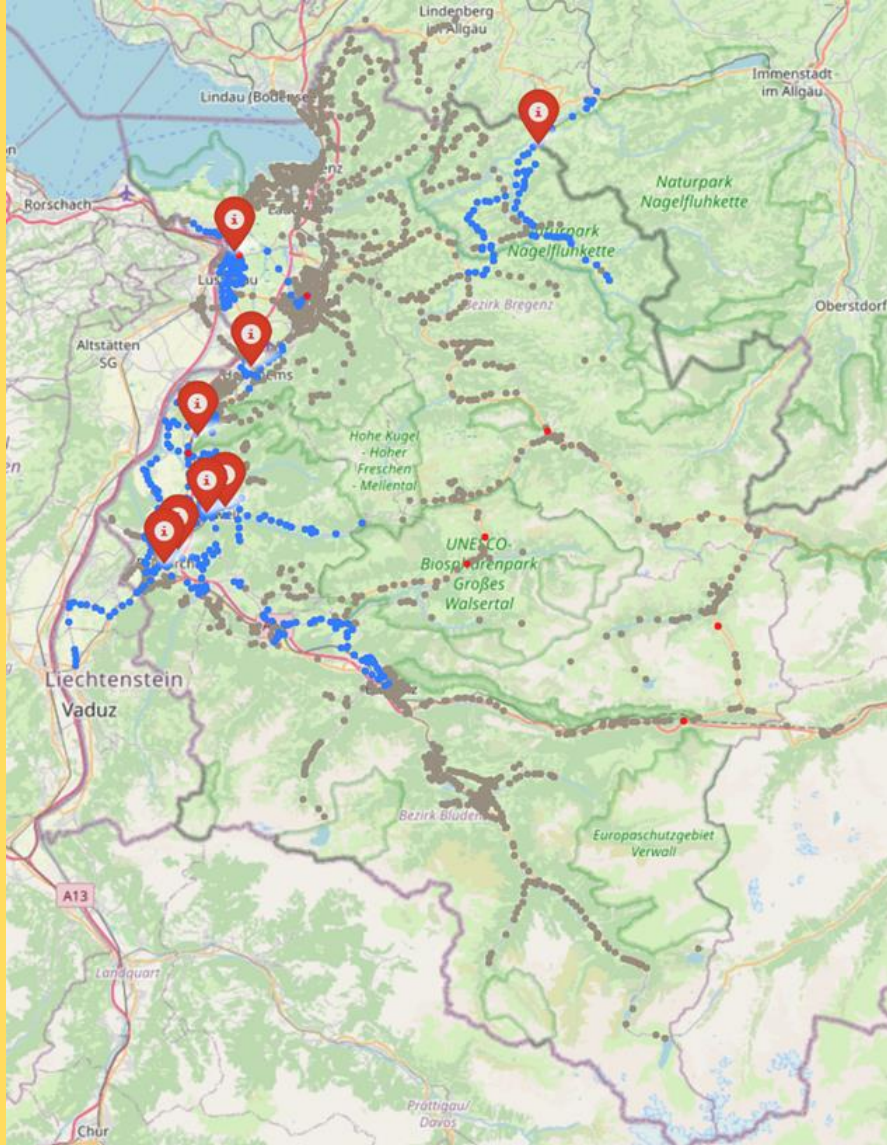



Mehr Infos zum VVV in der Keynote um 13 Uhr.



# Verkehrsverbund Vorarlberg

## Busflotten-Elektrifizierung Frühling 2024

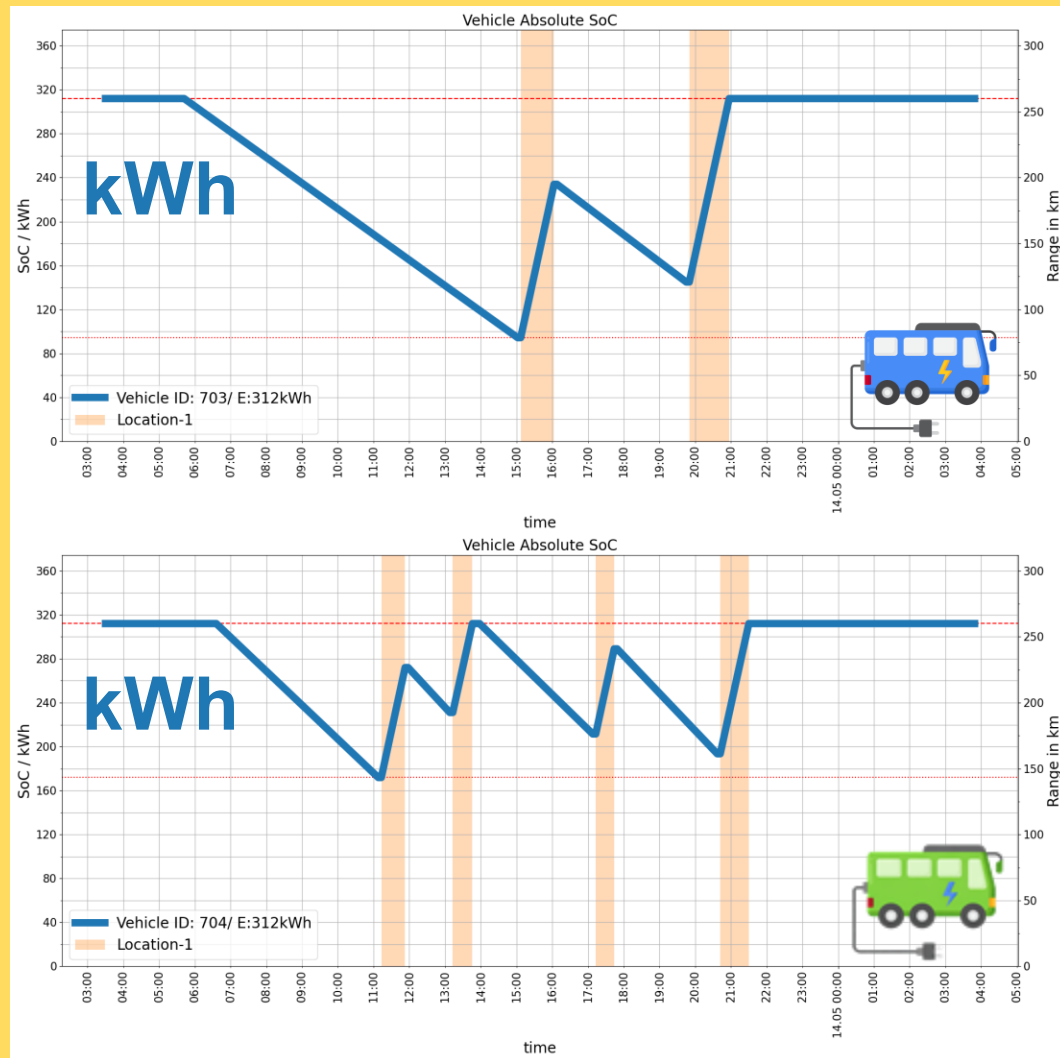


-  **Ladeorte**
-  **Betriebshöfe**
-  **E-Bus Haltestellen**
-  **D-Bus Haltestellen**



Vorarlberg: Bereits 2024 ein Netzwerk aus Ladeorten mit Depot- und Zwischenladen

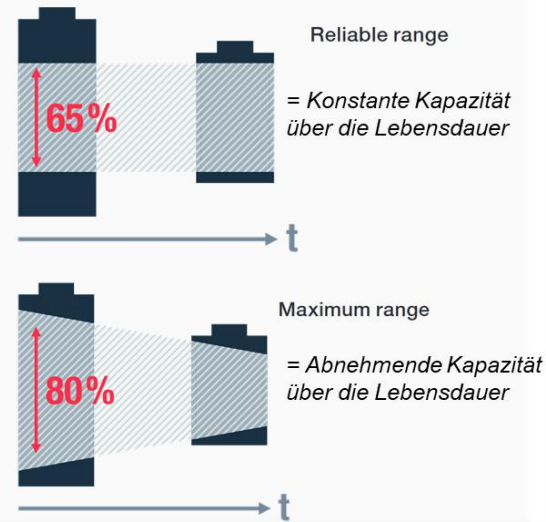
# Ladesimulation – Aus Sicht des Fahrzeuges I



## MAN Lion's City 12E

✗ Brutto Batteriekapazität	480 kWh
✓ Netto Batteriekapazität (DoD 65%)	312 kWh
✓ Max. Ladeleistung	150 kW
⚠ Spezifischer Verbrauch	0.9 - 1.2 kWh/km    0 - 10 kWh/h
⚠ Reichweite	260 km

## MAN Batterienutzungsstrategien:



Werte z.B. von:

- Datenblättern (MAN)
- Messungen (VVV, VKW, EVO)
- Simulationen (RWU)



Schaffen diese Fahrzeuge (blau & grün) den geplanten Einsatz?

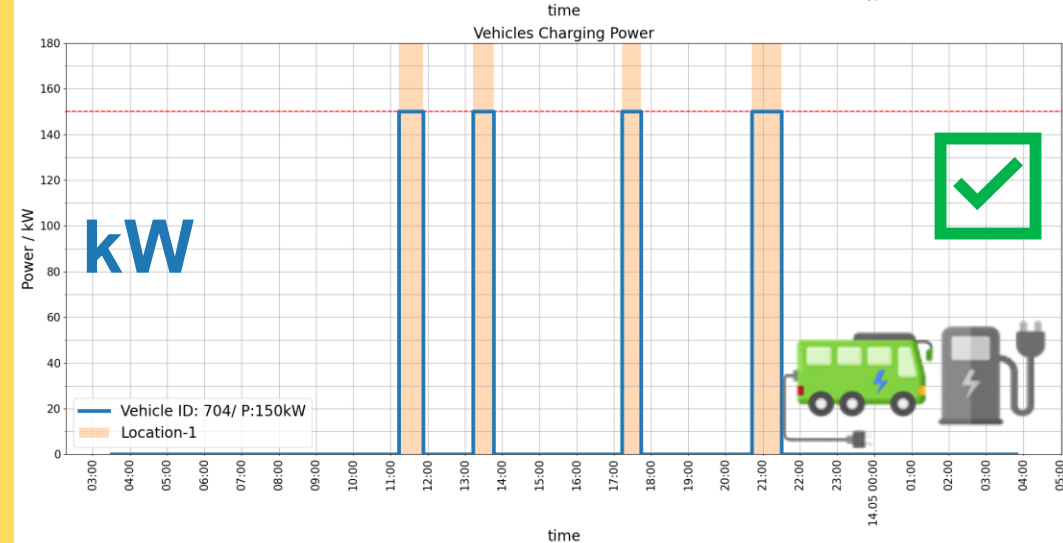
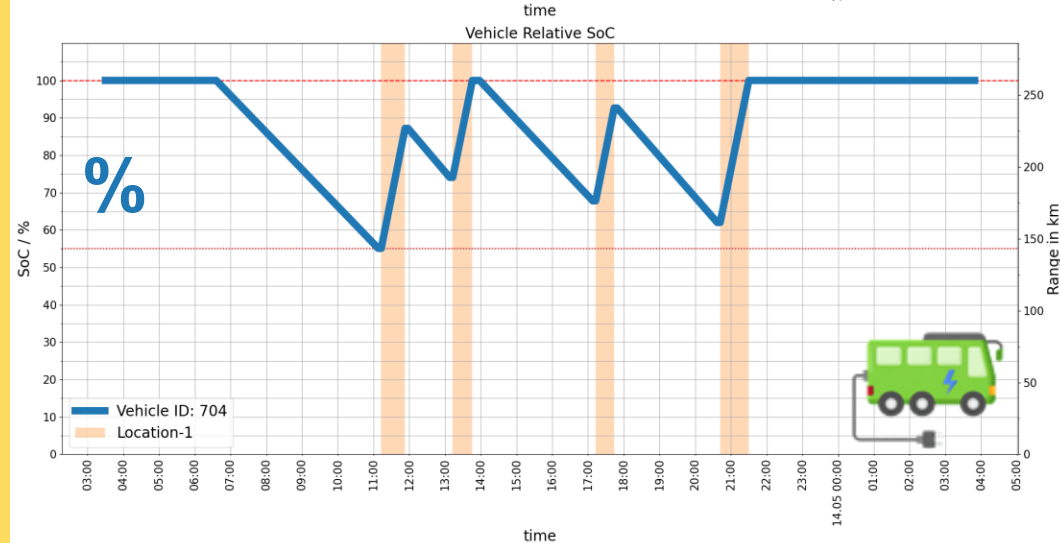
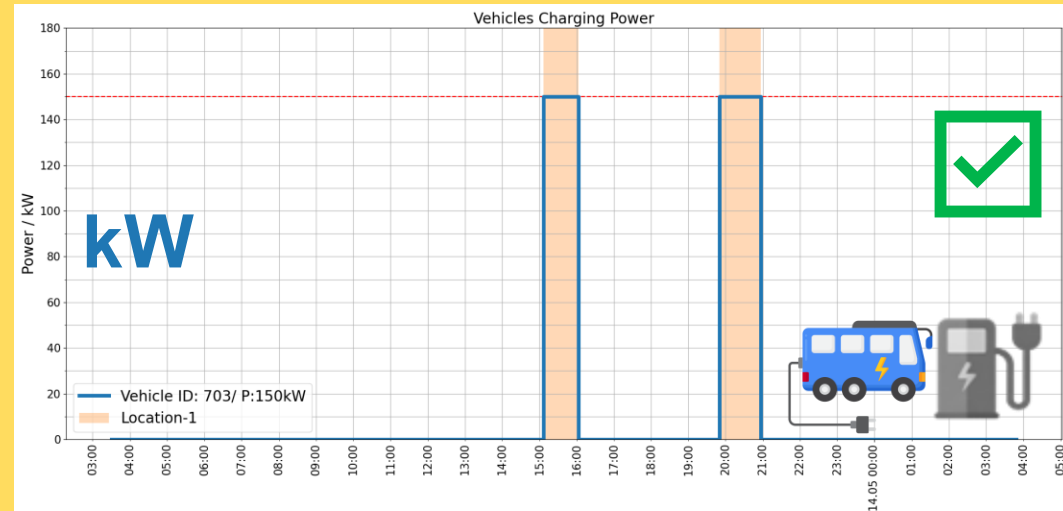
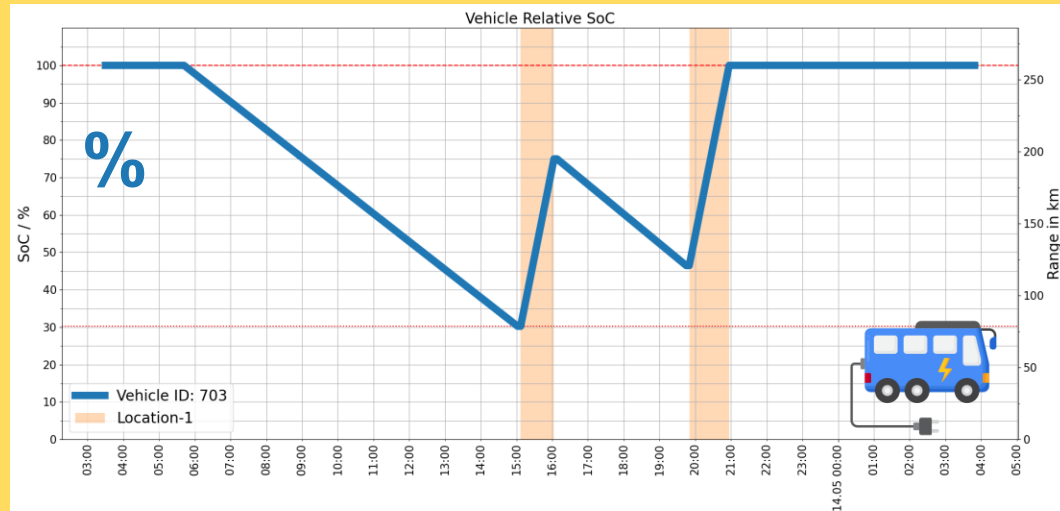


Ja: Infrastrukturplanung kann begonnen werden.



Nein: Fahrzeugtyp oder Fahrplan müssen angepasst werden!  
Hier nützt auch eine Ladeoptimierung nichts.

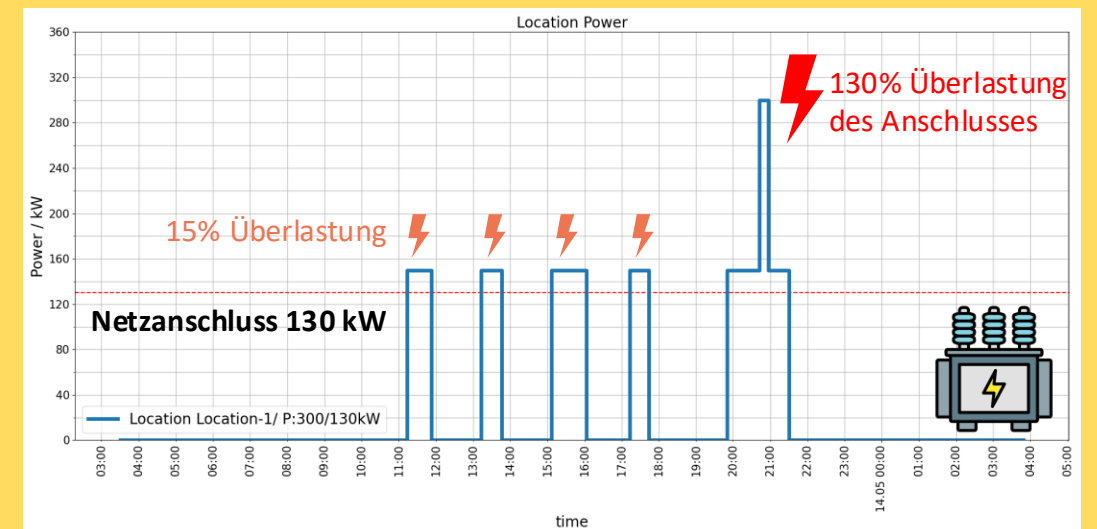
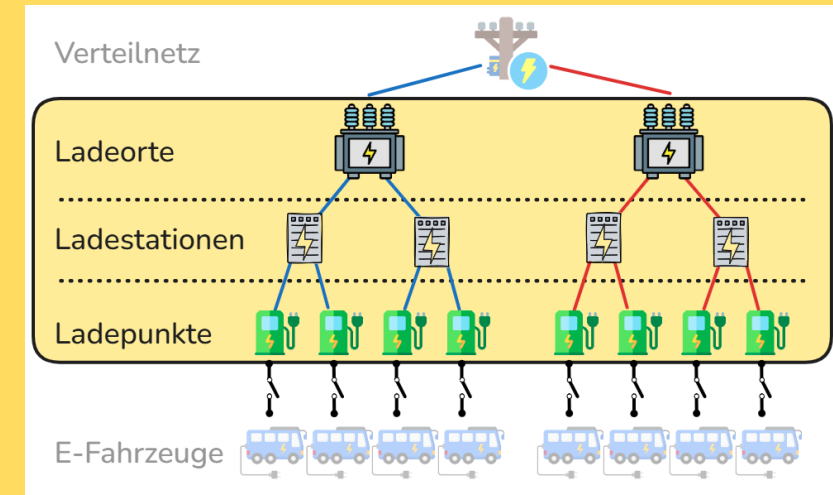
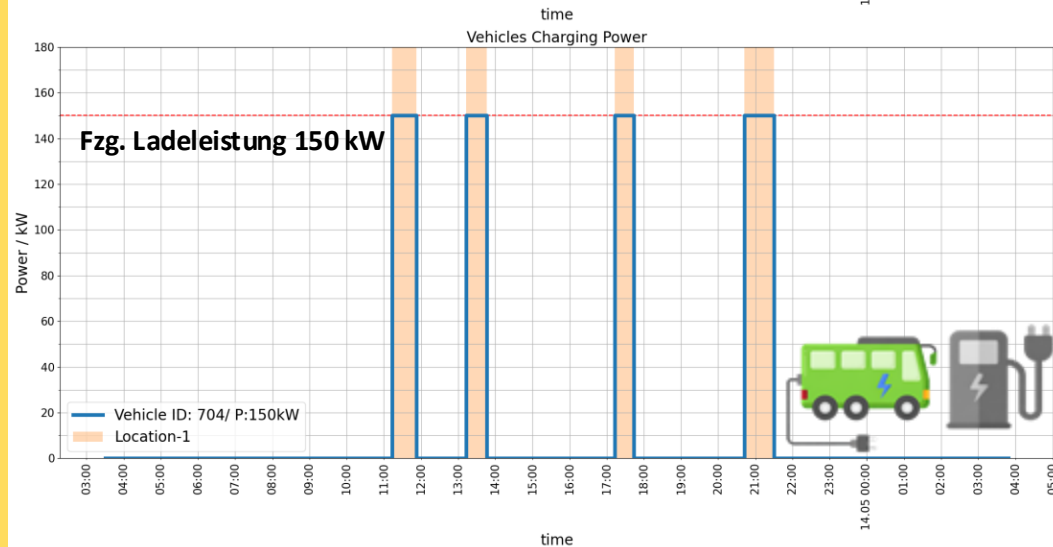
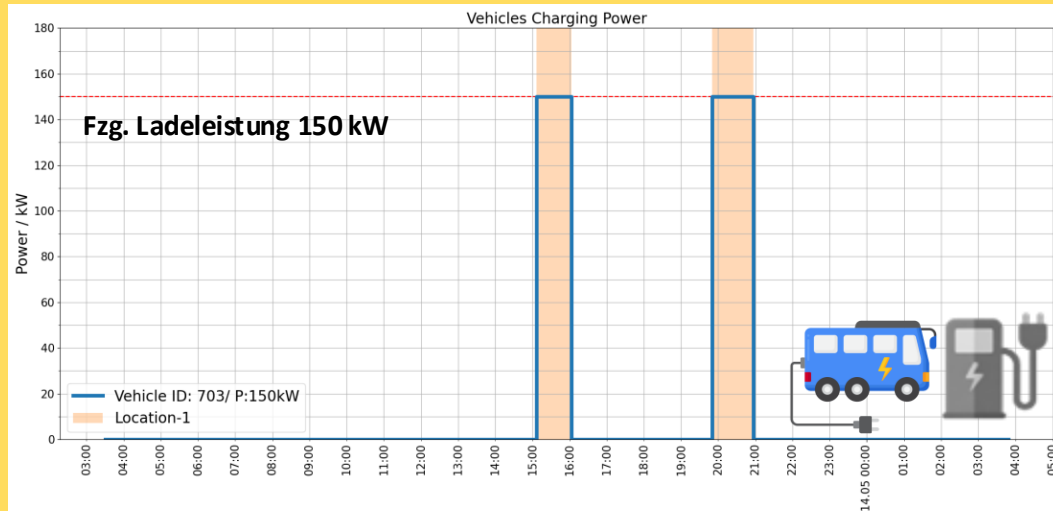
# Ladesimulation – Aus Sicht des Fahrzeuges II



Schaut alles gut aus oder wurde hier etwas übersehen?

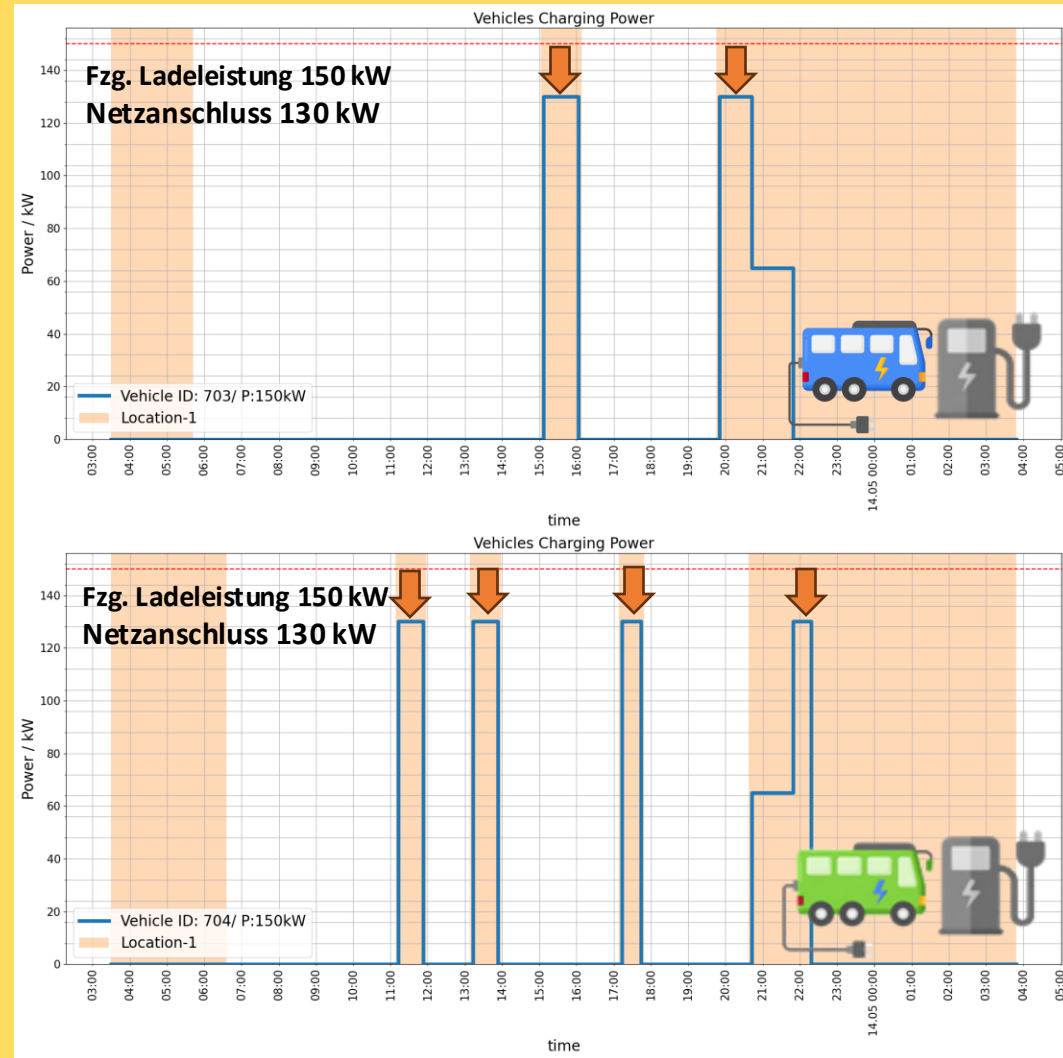
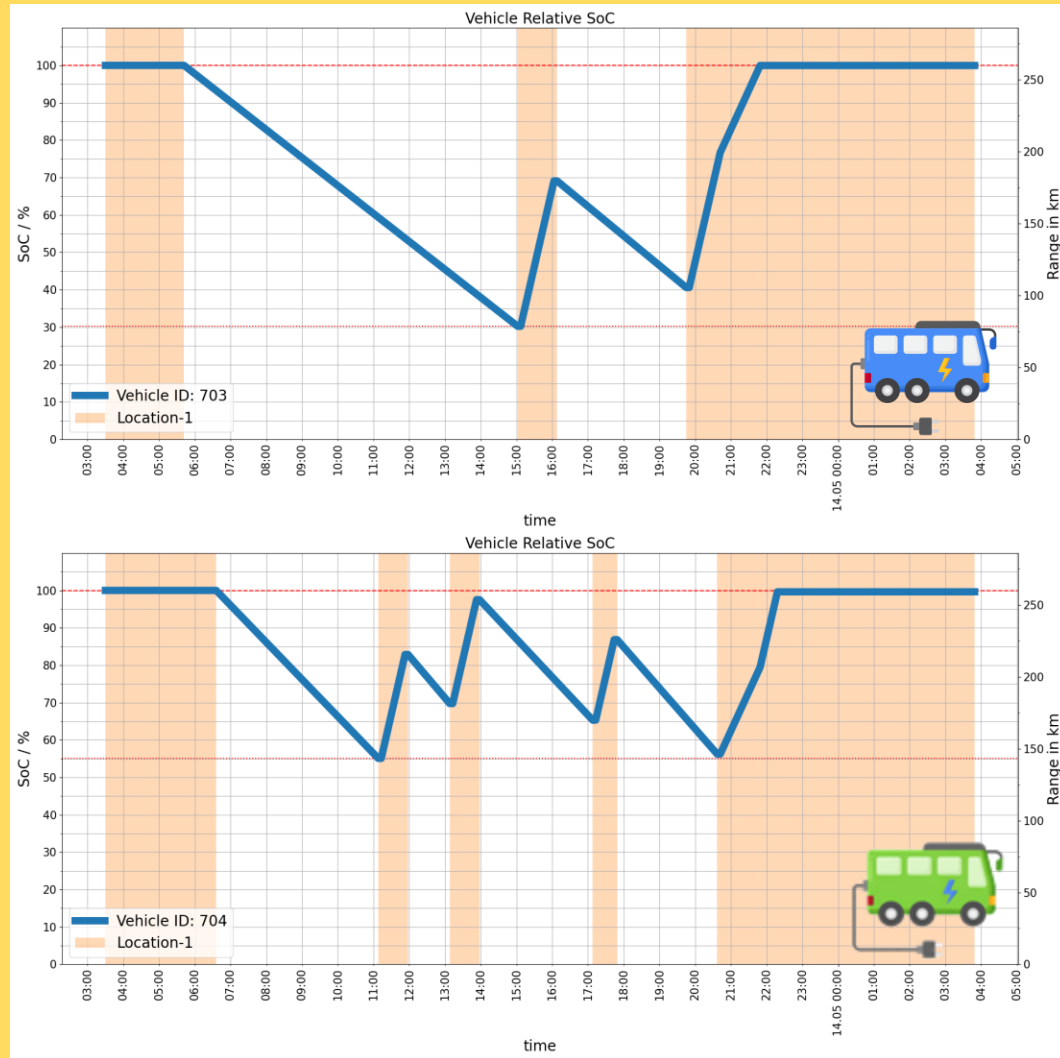


# Ladesimulation – Aus Sicht des Fahrzeuges II



Der Netzanschluss am Betriebshof ist nicht ausreichend.

# Ladesimulation – Fahrzeuge und Infrastruktur I



Ist die Ladeinfrastruktur ausreichend für den Einsatz?



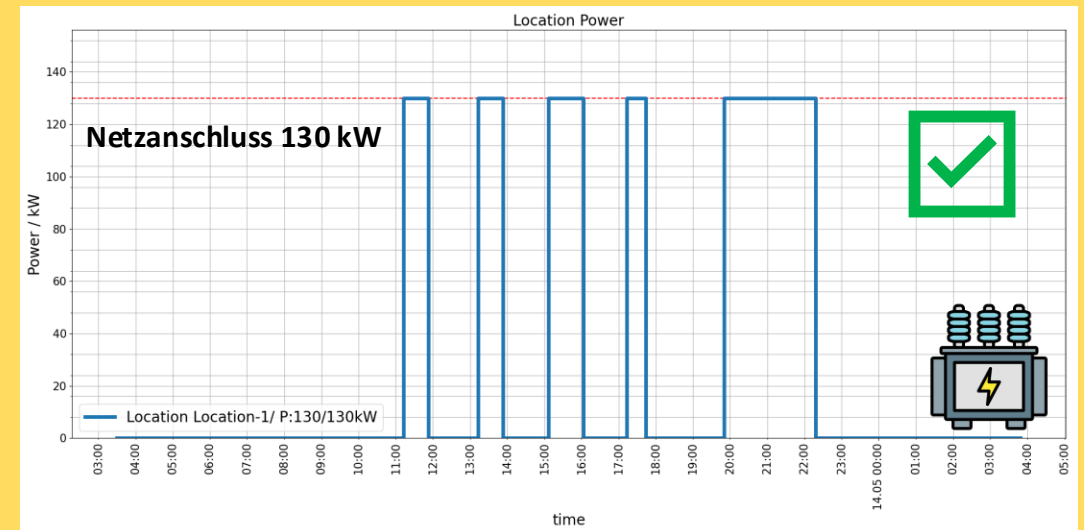
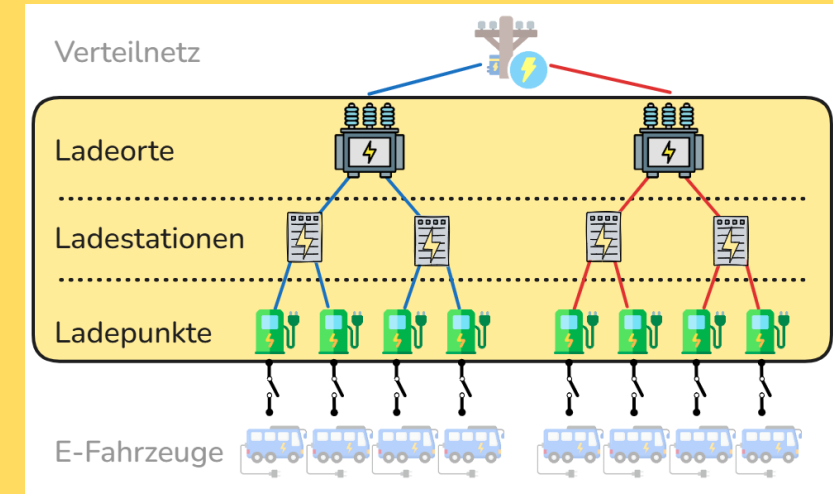
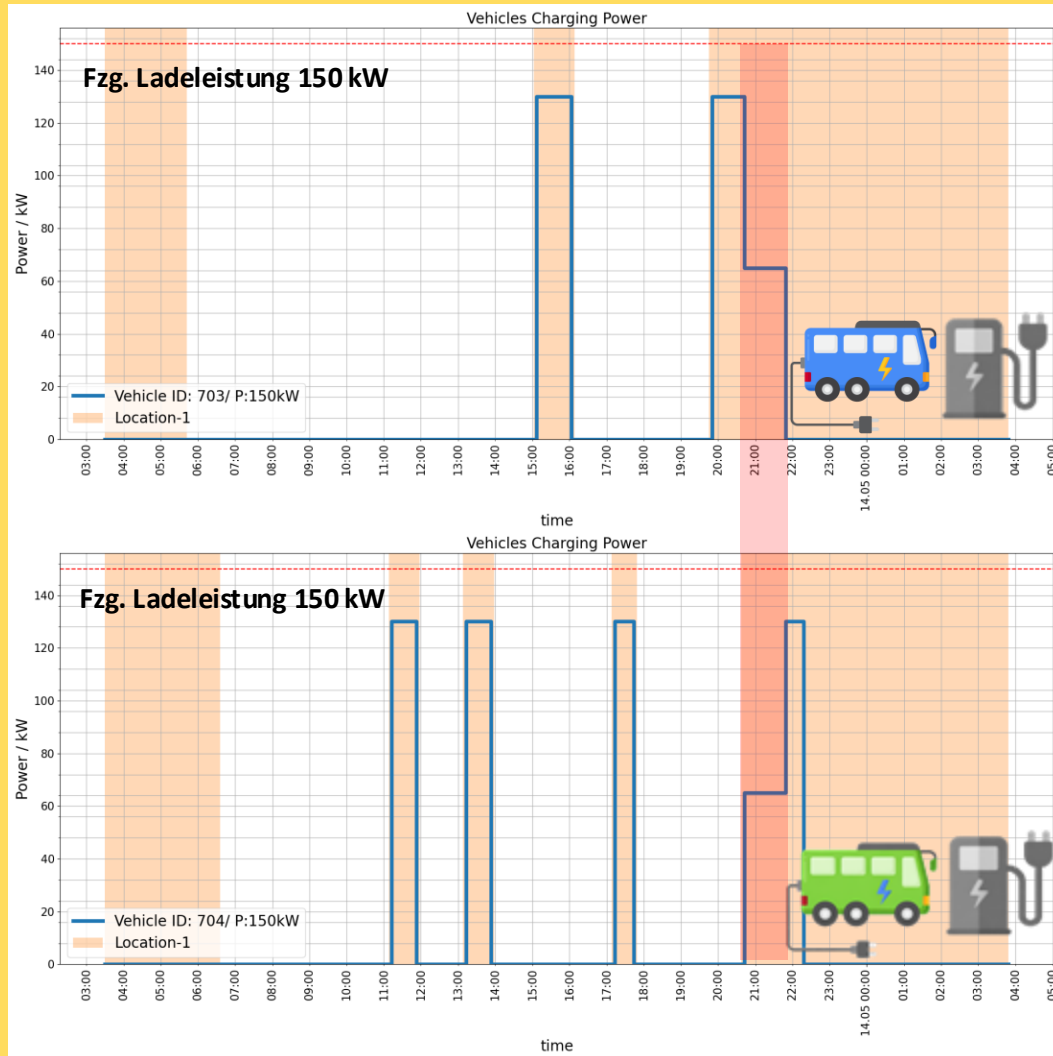
Ja: Infrastruktur und Ladeplan können weiter optimiert werden (z.B. auf Robustheit, Kosten).



Nein: Infrastrukturausbau und/oder Ladeoptimierung untersuchen.

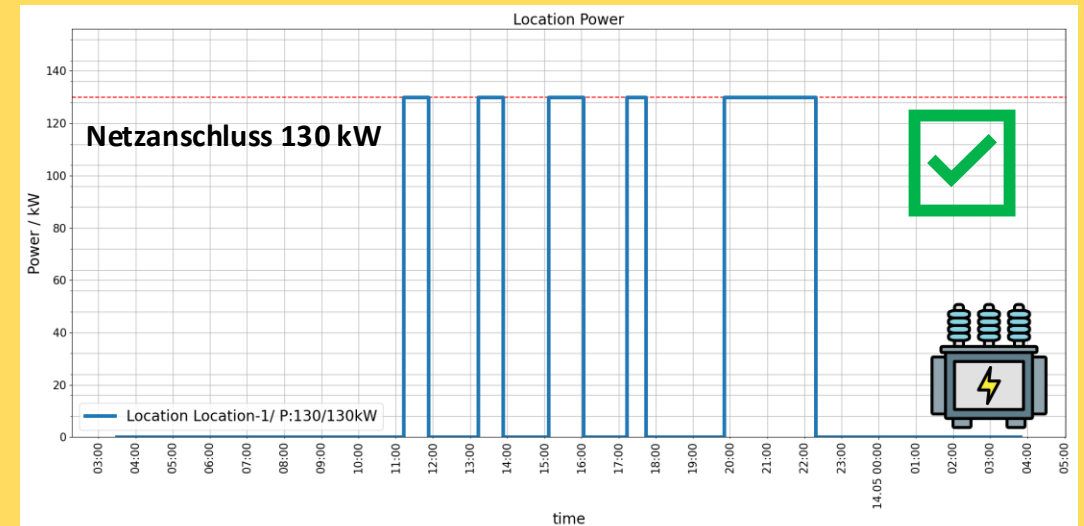
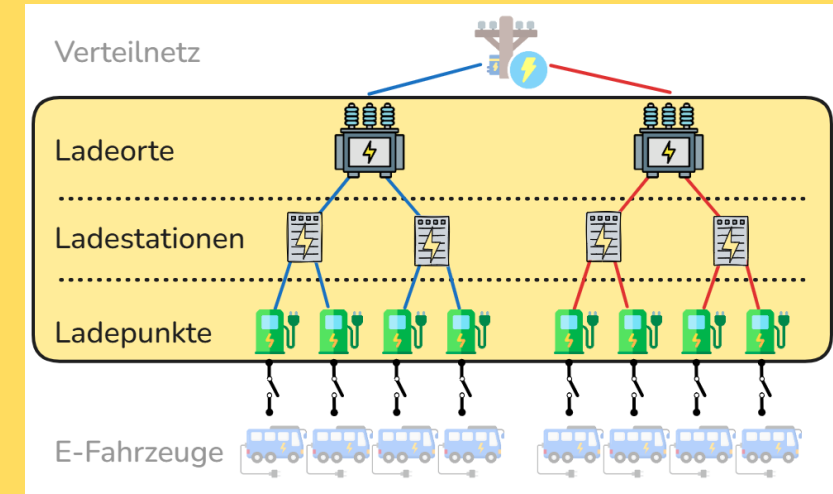
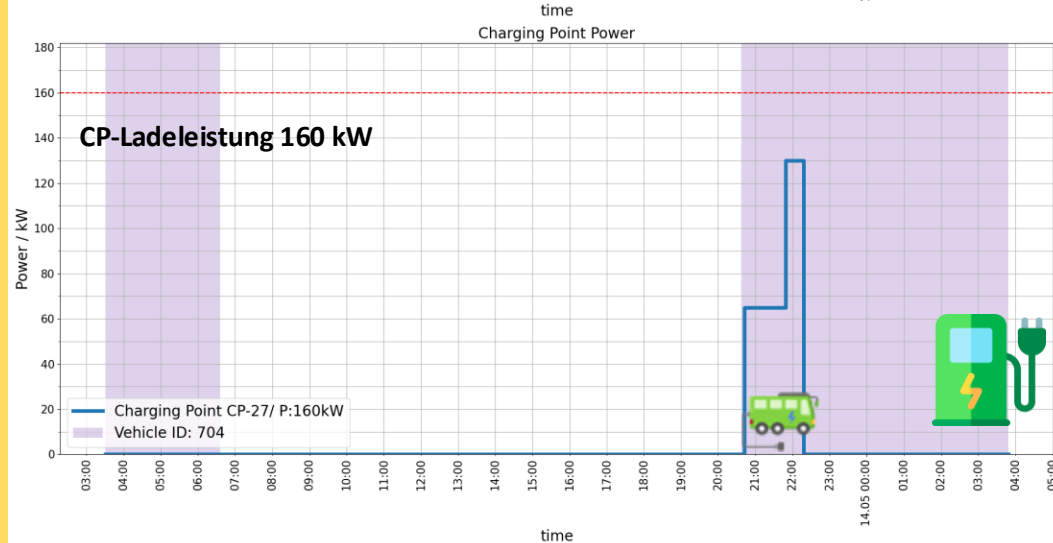
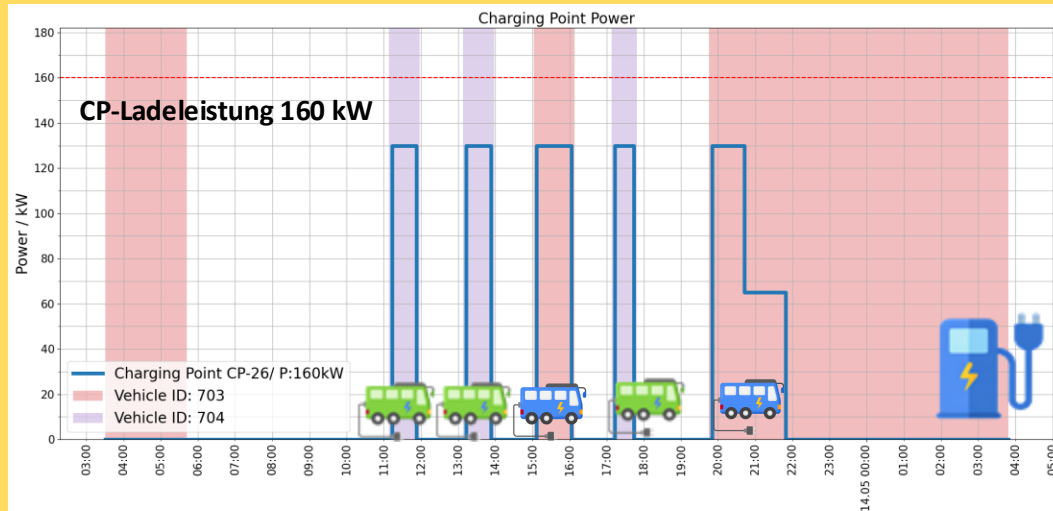


# Ladesimulation – Fahrzeuge und Infrastruktur II



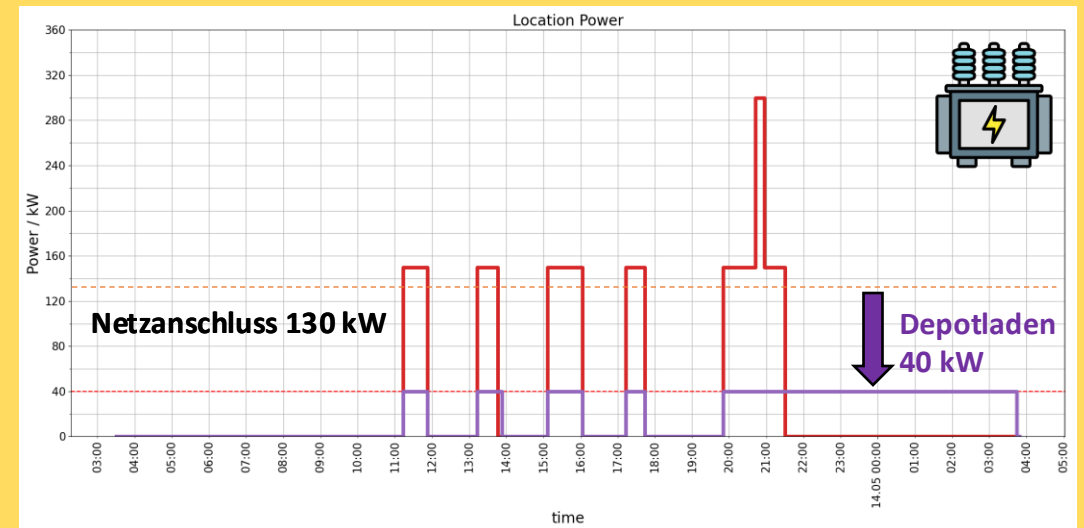
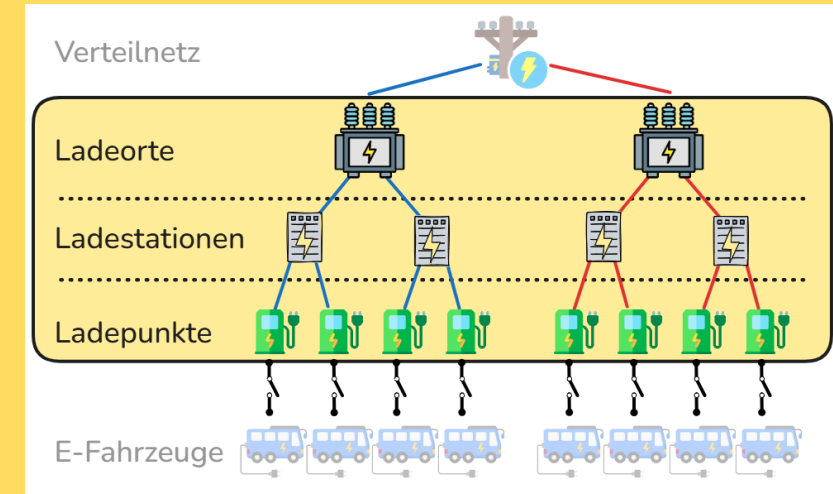
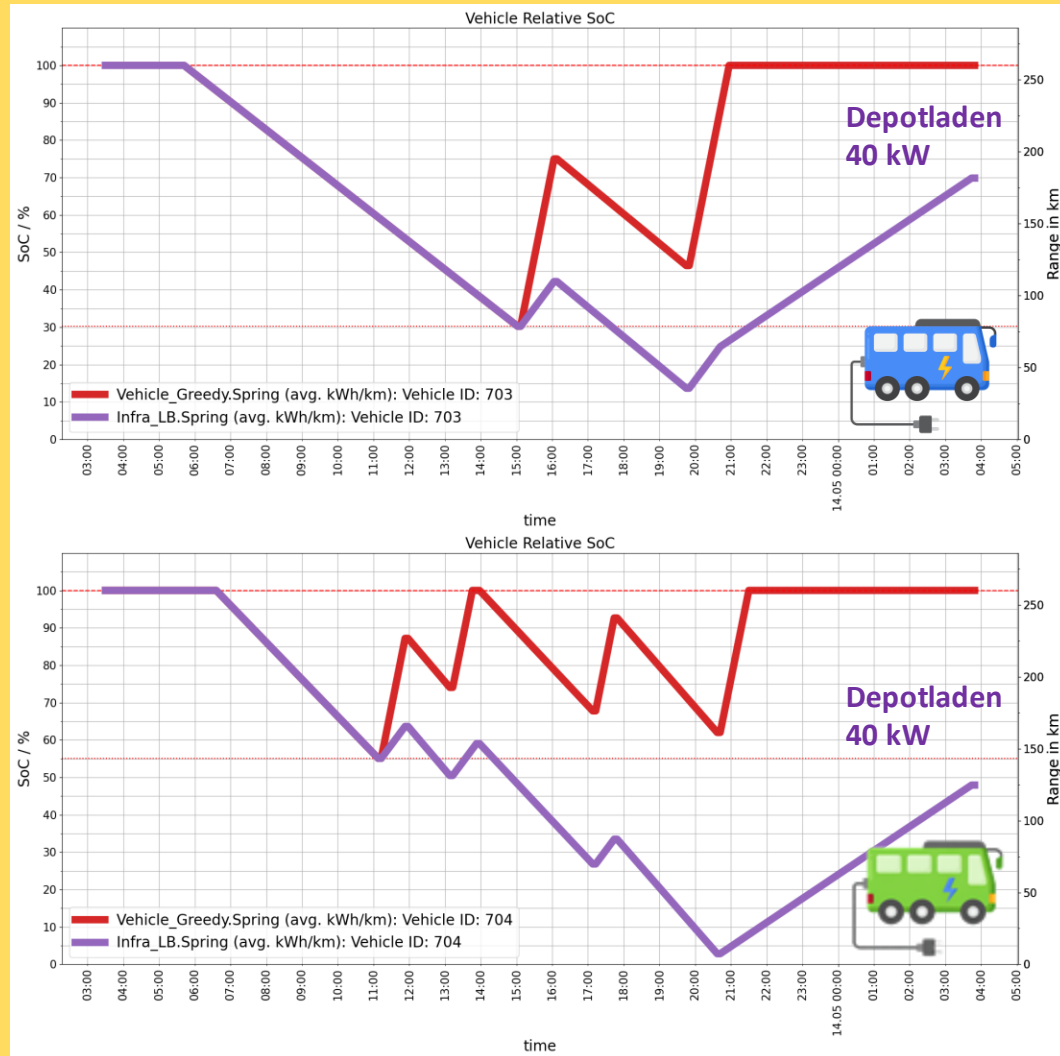
Unter gegebenen Annahmen funktioniert dieses Konzept aus Fuhrpark, Fahrplan und Ladeinfrastruktur.

# Ladesimulation – Fahrzeuge und Infrastruktur III



→ Aber eigentlich wird der zweite Ladepunkt (grün) kaum benötigt.

# Ladesimulation – Fahrzeuge und Infrastruktur IV



Lässt sich die Ladeleistung mit einfachen Mitteln drosseln?

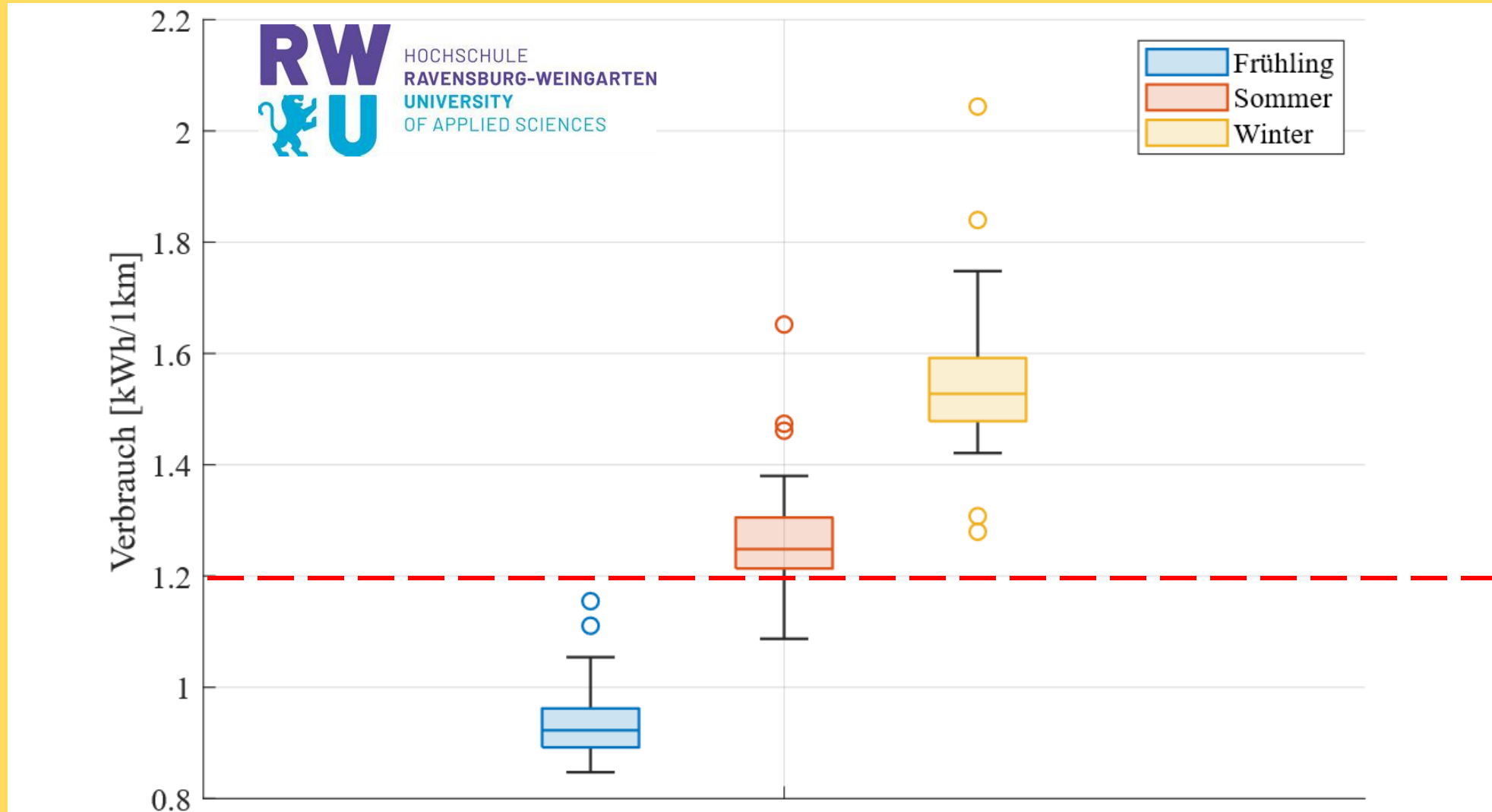


Ja: Umsetzung einplanen



Nein: Das Potential durch intelligentes Lademanagement untersuchen.

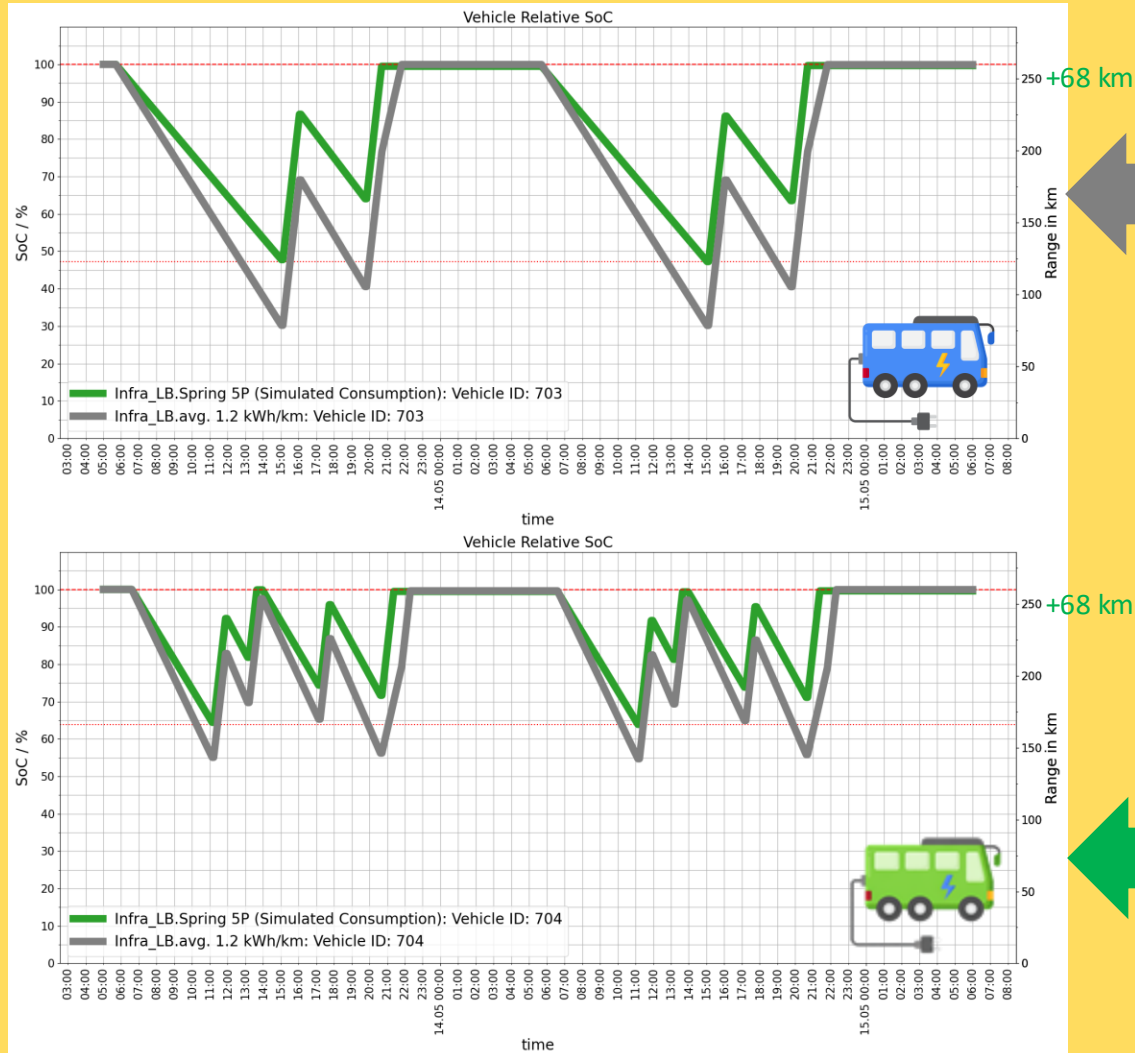
# Ladesimulation – Simulierte Verbräuche I



Quelle: Anja Konzept, Arne Hitz, FreeE-Bus Workshop 2024: Präsentation Verbrauchssimulation

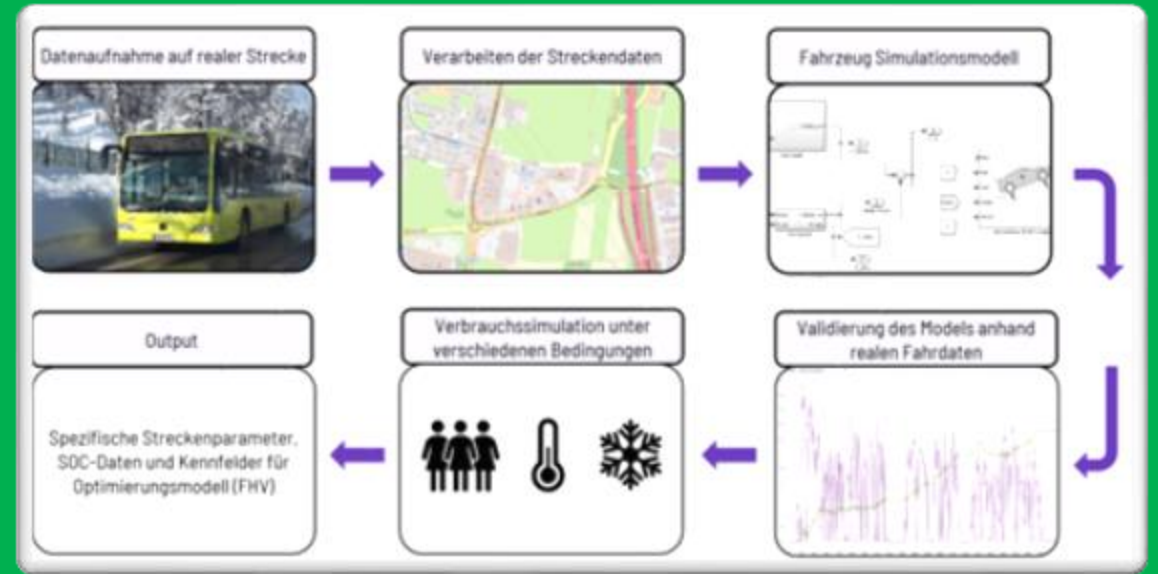


# Ladesimulation – Simulierte Verbräuche II



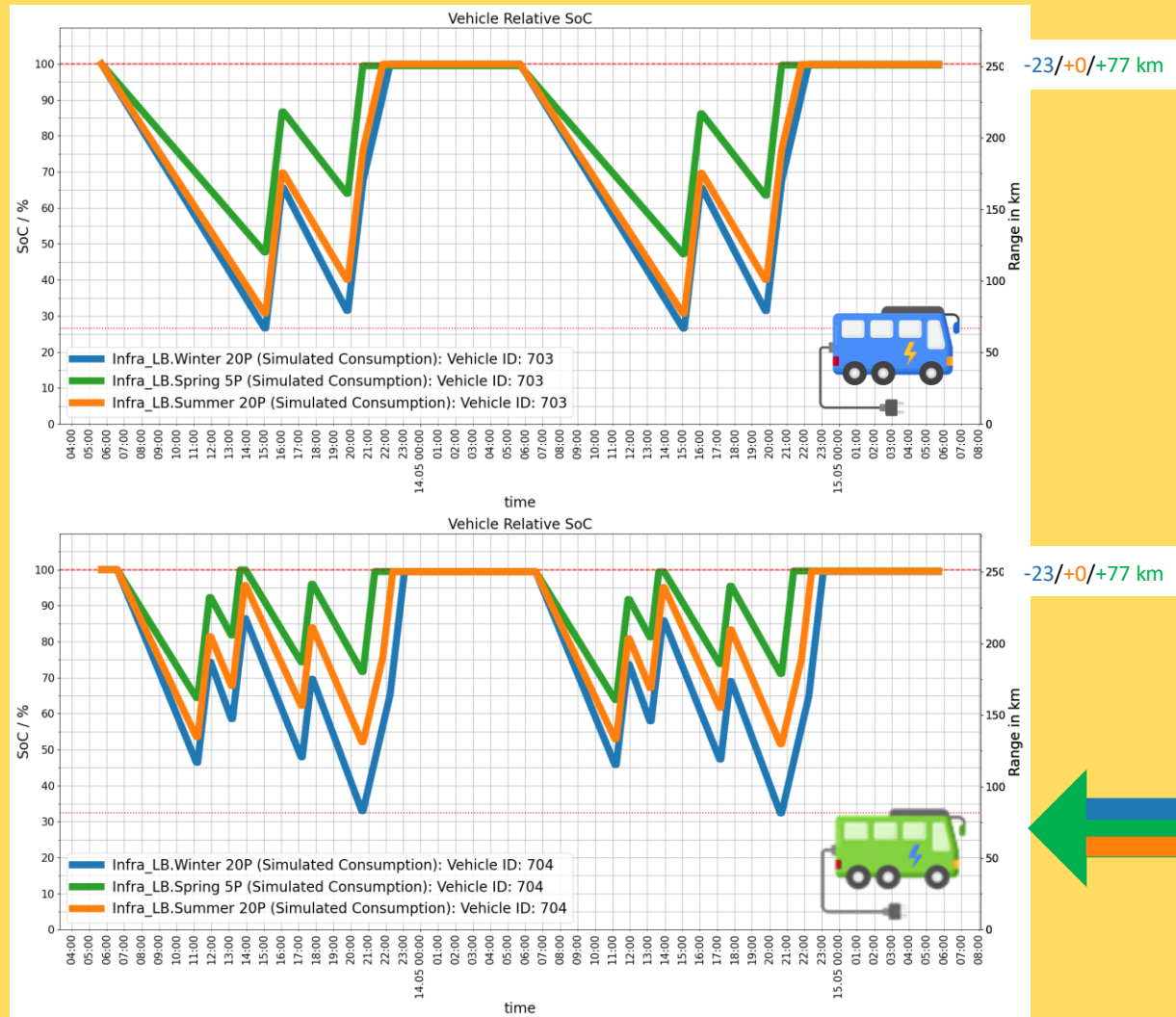
MAN Lion's City 12E	Generell	Frühling 15°C
✗ Brutto Batteriekapazität	480 kWh	
✓ Netto Batteriekapazität (DoD 65%)	312 kWh	
✓ Max. Ladeleistung	150 kW	
⚠ Spezifischer Verbrauch	1.2 kWh/km	0.95 kWh/km
⚠ Reichweite	260 km	328 km

# Verbrauchssimulation @ RWU



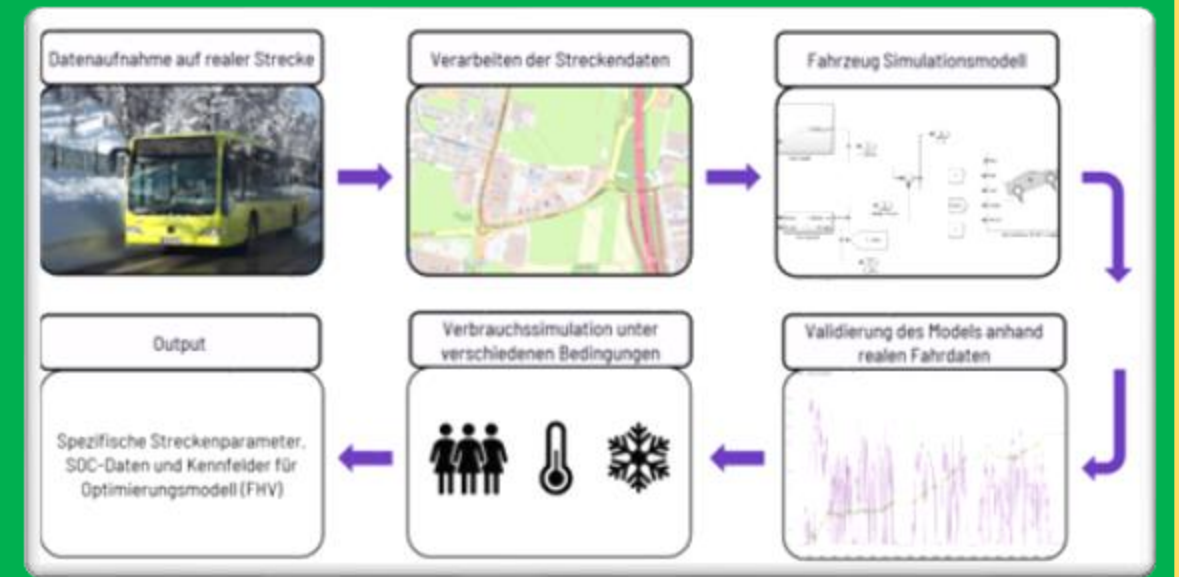
Für den Betrieb im Frühling und Herbst sind die typischen Verbrauchswerte eher zu konservativ.

# Ladesimulation – Simulierte Verbräuche III



MAN Lion's City 12E	Generell	Winter 0°C	Frühling 15°C	Sommer 30°C
✗ Brutto Batteriekapazität	480 kWh			
✓ Netto Batteriekapazität (DoD 65%)	312 kWh			
✓ Max. Ladeleistung	150 kW			
⚠ Spezifischer Verbrauch	1.2 kWh/km	1.43 kWh/km	0.95 kWh/km	1.24 kWh/km
⚠ Reichweite	260 km	218 km	328 km	251 km

## Verbrauchssimulation @ RWU



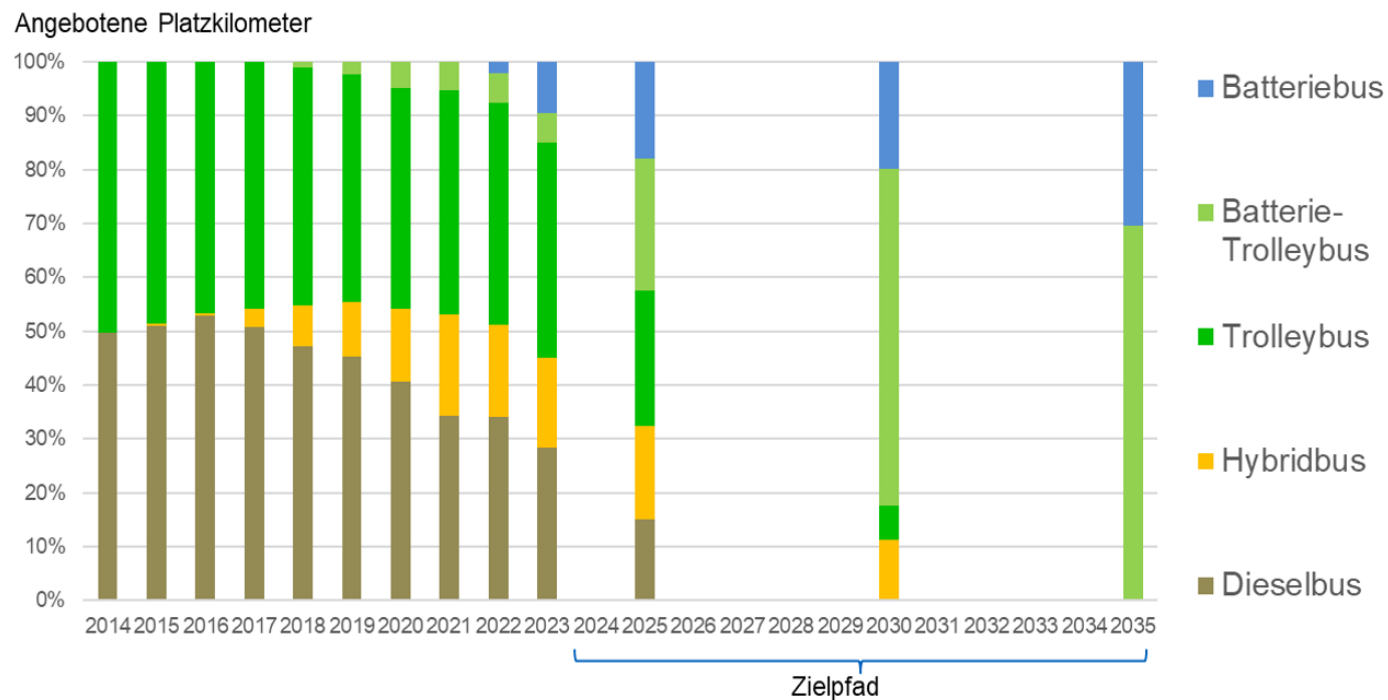
Für den Betrieb im Sommer passen die typischen Verbrauchswerte sehr gut. Im Winter kann eine fossile Zusatzheizung aushelfen. → Vergleiche auf VBZ-Folien

# Verkehrsbetriebe Zürich Busflotten-Elektrifizierung

VBZ

Züri  Linie

VBZ-Busflotte nach Antriebsart

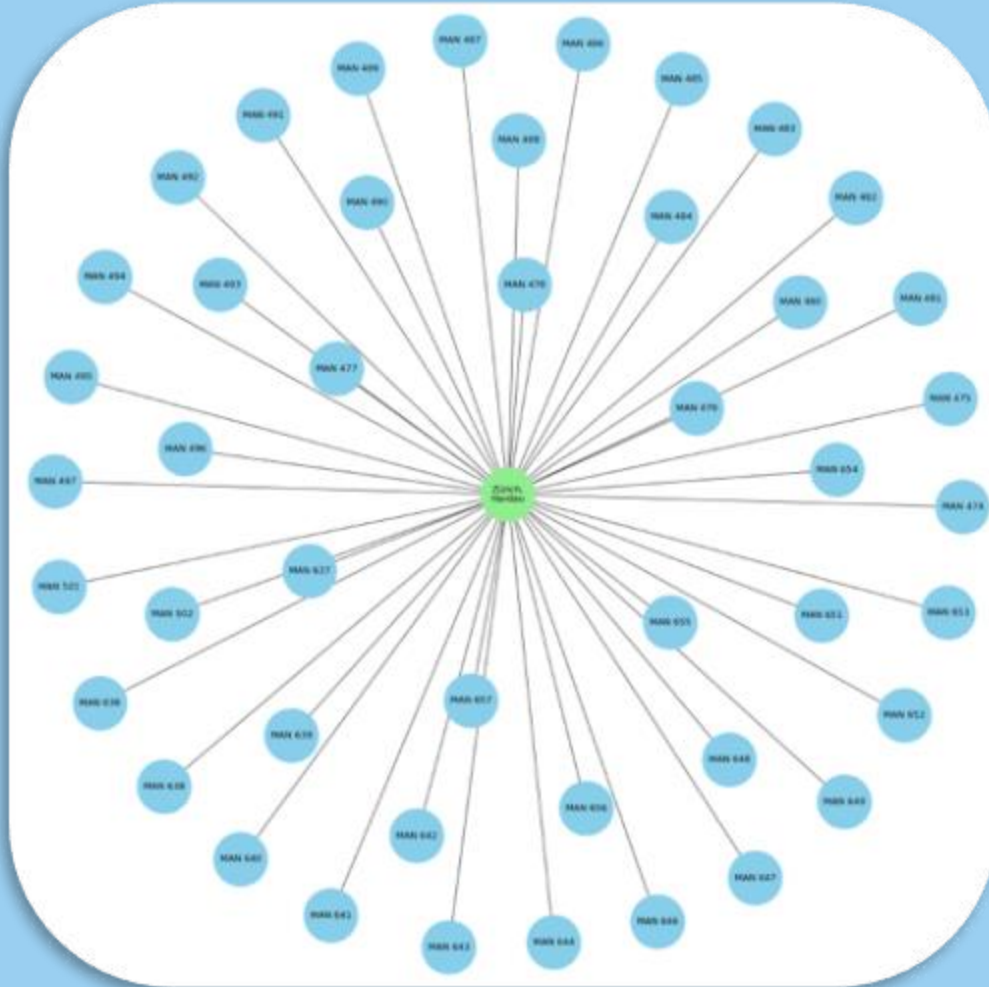


Elektrifizierung: Batteriebusse und Batterie-Trolleybusse





# Verkehrsbetriebe Zürich Ladeorte



- Ladeorte
- E-Busse

**i** Zentrale Systeme mit >55 Batteriebusse am Depot

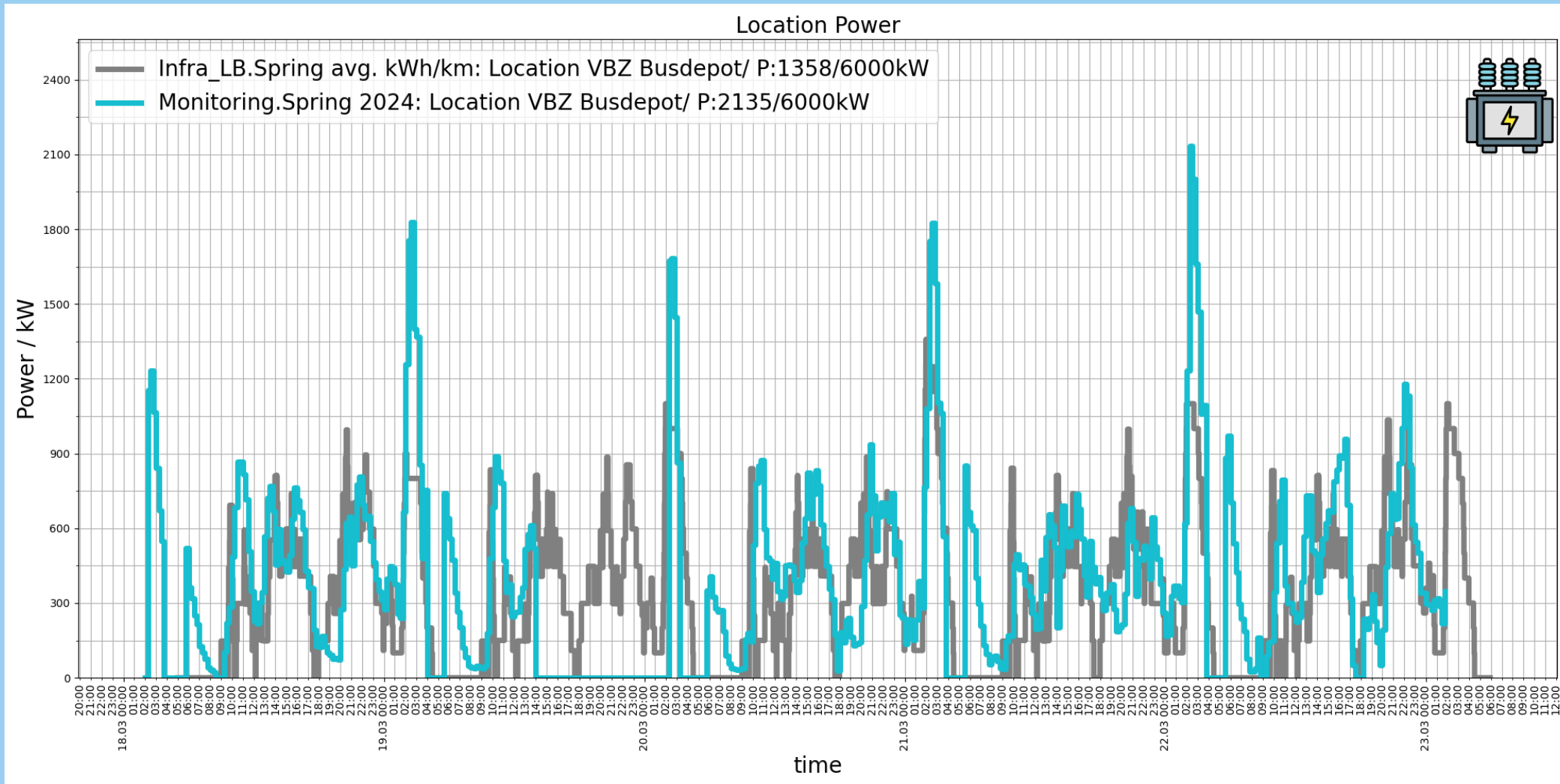
VBZ

Züri  Linie



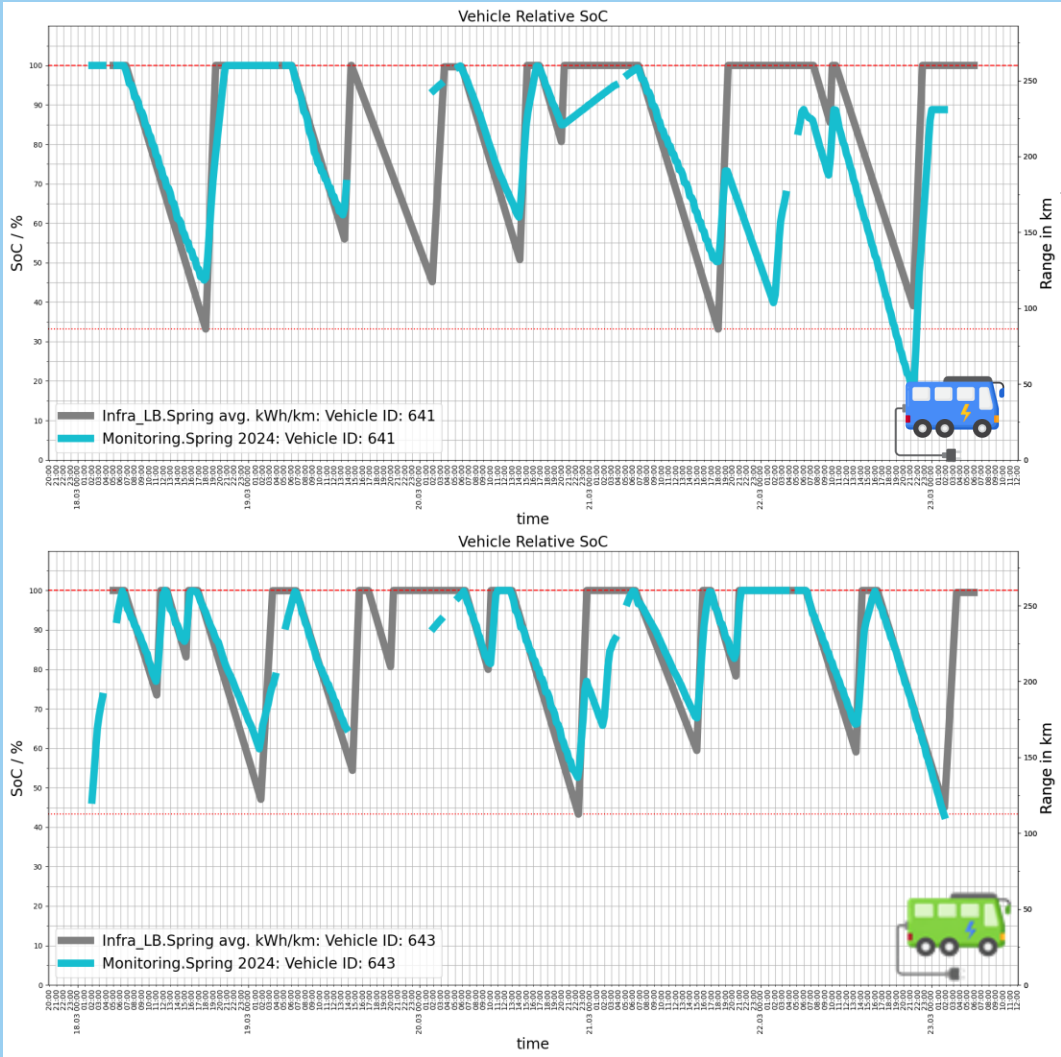


# Ladesimulation – Verifizierung mit Messwerten I



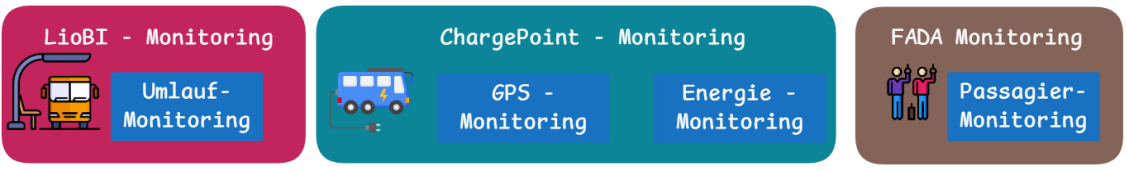
Bereits gute Übereinstimmung zwischen Simuliertem Szenario und real Messungen, beim ersten Daten-Austausch mit VBZ.

# Ladesimulation – Verifizierung mit Messwerten II



MAN Lion's City 12E	Generell	Monitoring 15°C
✗ Brutto Batteriekapazität	480 kWh	
✓ Netto Batteriekapazität (DoD 65%)	312 kWh	
✓ Max. Ladeleistung	150 kW	
⚠ Spezifischer Verbrauch	1.2 kWh/km	1.18 kWh/km
⚠ Reichweite	260 km	264 km

## Monitoring @ VBZ

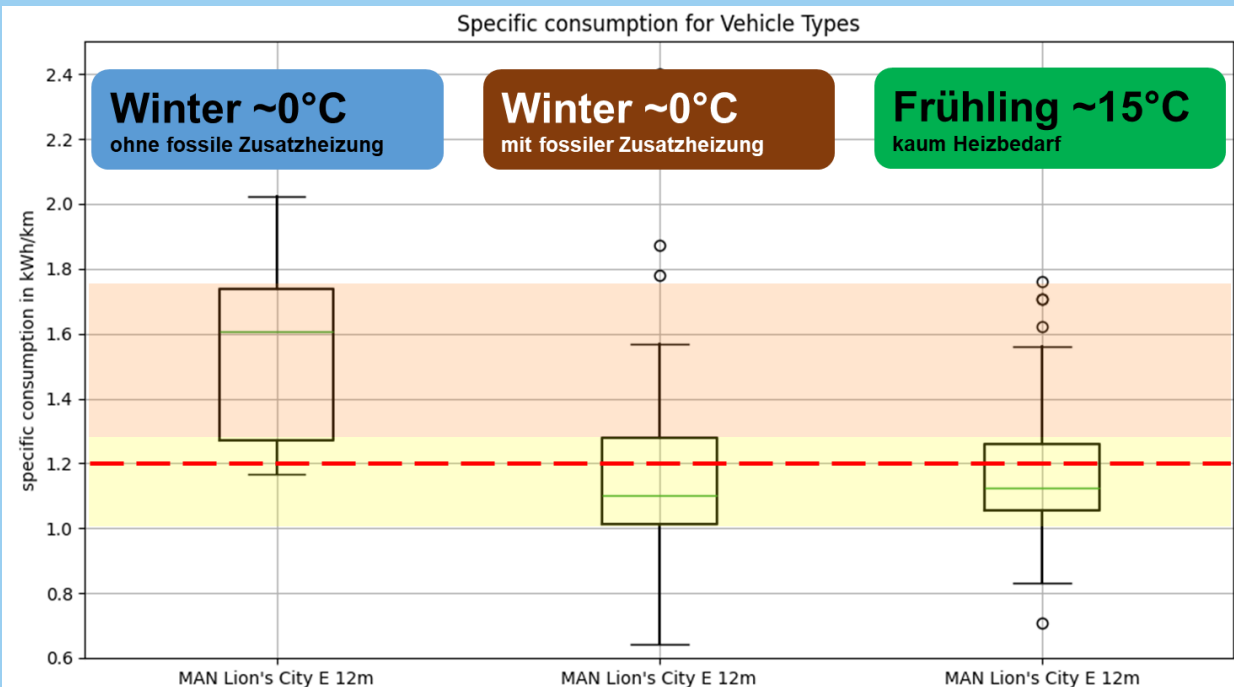


Für den Betrieb im Frühling passen die typischen Verbrauchswerte hier sehr gut.

# Ladesimulation – Verifizierung mit Messwerten II

## VBZ-Monitoring

- Normalbetrieb im Winter und Frühling
- Betrieb mit defekter Zusatzheizung im Winter

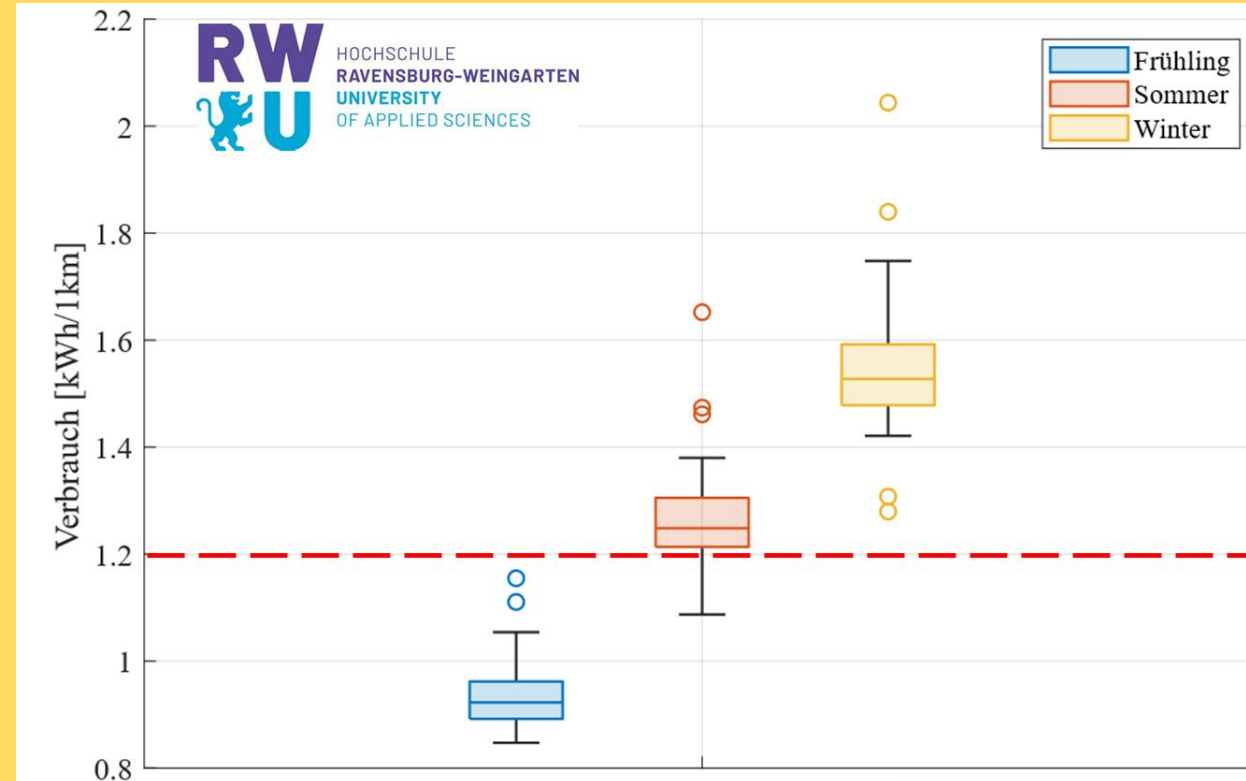


VBZ

Züri  Linie

## RWU-Simulationen

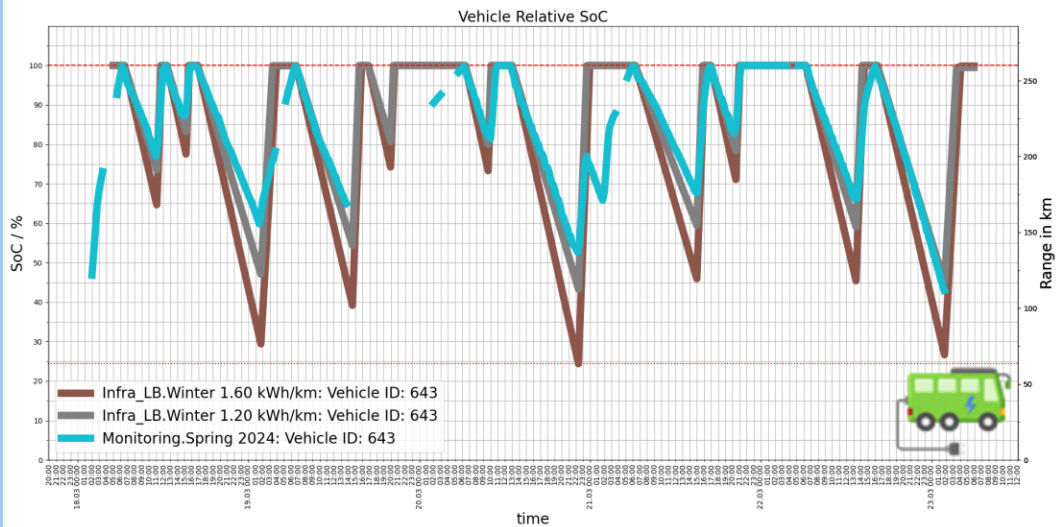
- Simulation auf Basis von VVV GPS-Tracking



V VV  
VERKEHRSVERBUND  
VORARLBERG



# Ladesimulation – Verifizierung mit Messwerten IV



MAN Lion's City 12E	Generell	Monitoring 15°C	Ohne Fossile Heizung 0°C
✗ Brutto Batteriekapazität	480 kWh		
✓ Netto Batteriekapazität (DoD 65%)	312 kWh		
✓ Max. Ladeleistung	150 kW		
⚠ Spezifischer Verbrauch	1.2 kWh/km	1.18 kWh/km	1.60 kWh/km
⚠ Reichweite	260 km	264 km	195 km



# F & A



**Fragen oder Anmerkungen zum Thema Verbrauchs- und Ladesimulation?**

Zeit	Thema	Vortragende
09:00 – 09:15	Begrüßung und Überblick	
09:15 – 09:45	Routenmatching und Verbrauchssimulation	RWU
09:45 - 10:45	Lastmanagement	FHV
10:45 – 11:15	PAUSE inkl. Kaffee, Gebäck und Obst	
11:15 – 11:45	Prototypische Umsetzung des Lastmanagements	RWU, FHV, EVO
11:45 – 12:00	Wissenstransfer: Webseite, Github, Publikationen	FHV
12:00 - 13:00	MITTAGESSEN	
13:00 – 14:00	Keynote: 2025 das Jahr der E-Busse	VVV, VKW, vlotte, VN
14:00 – 14:30	Diskussion zur Keynote	
14:30 – 15:00	Ausblick auf Folgeprojekt ENABLE	

