



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)

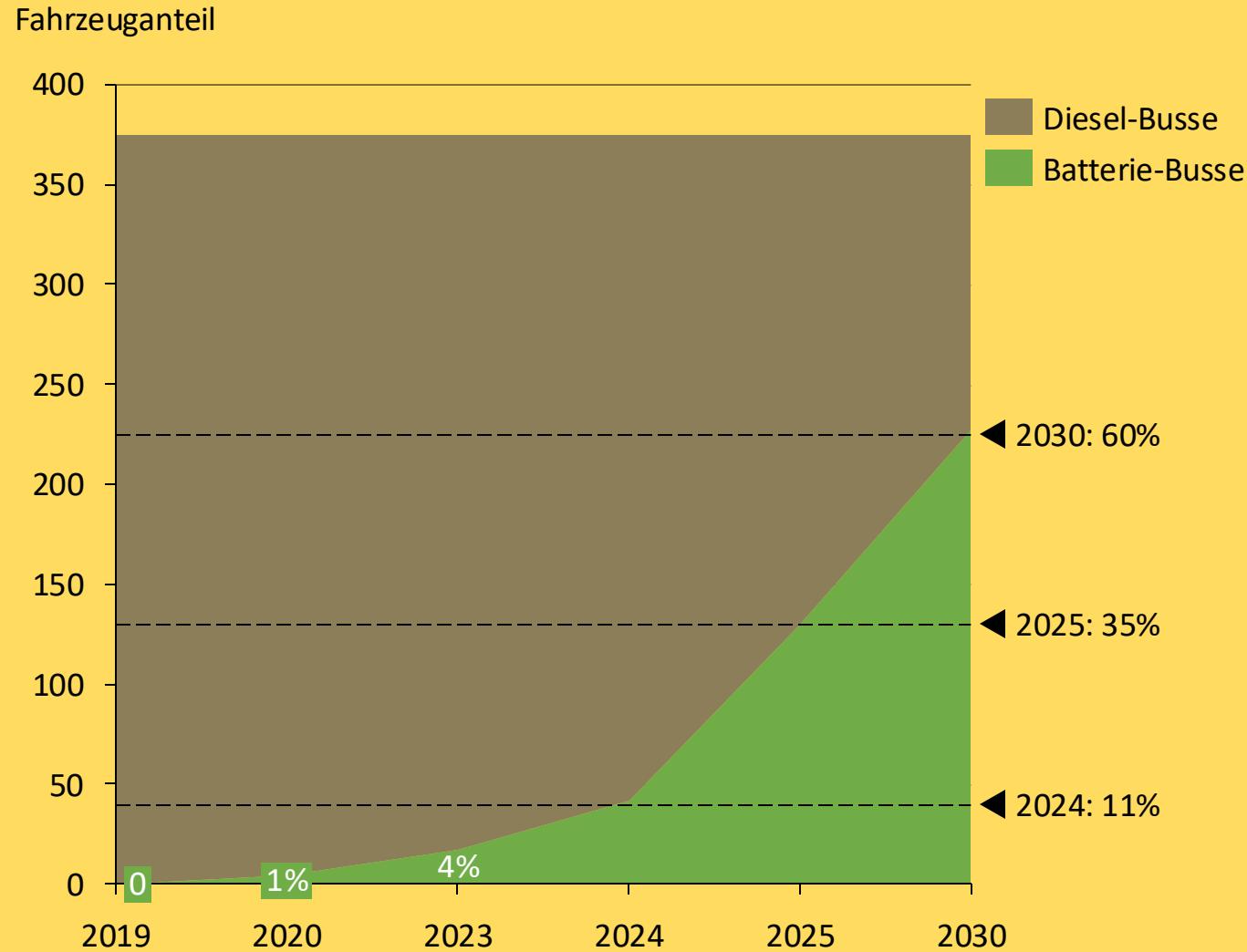
3.5 Lineare Optimierung (Klaus Rheinberger)

3.6 Robuste Optimierung (Florian Knolle)



Verkehrsverbund Vorarlberg

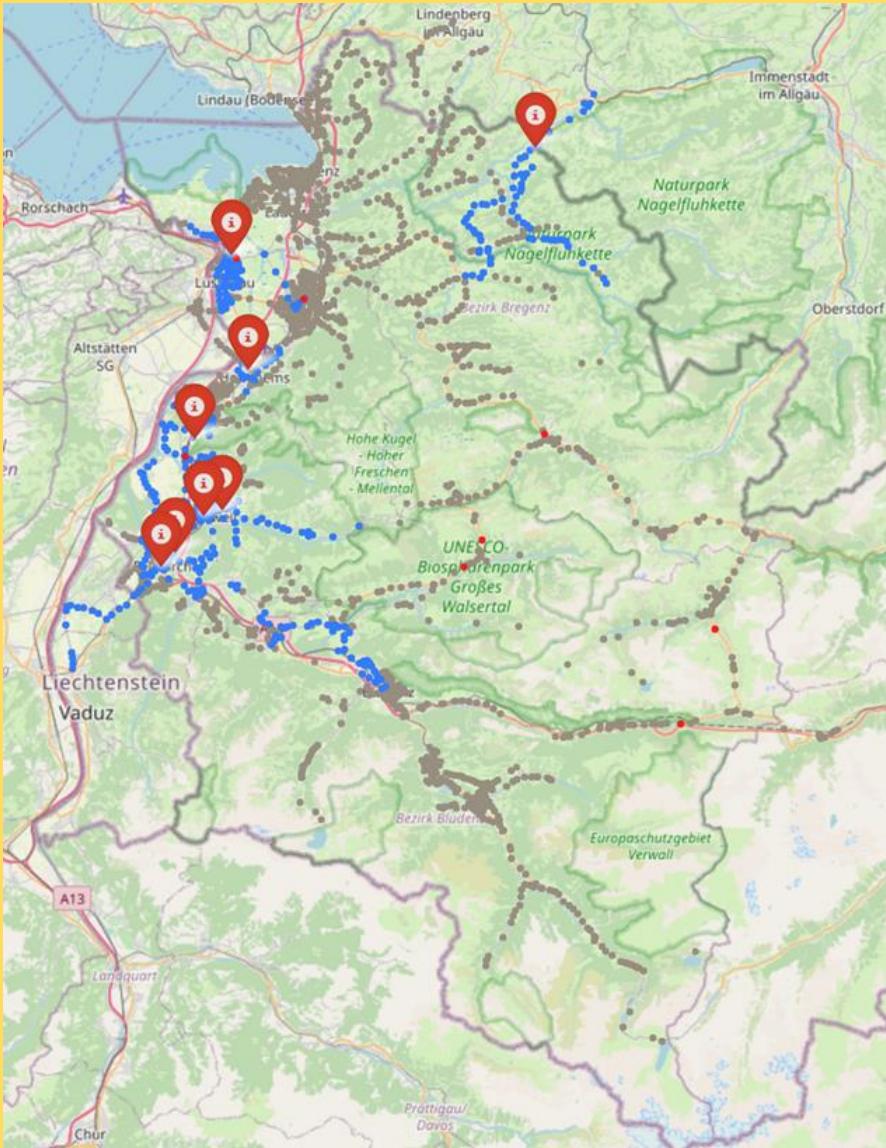
Busflotten-Elektrifizierungsplan 2019 - 2030



Mehr Infos zum VVV in der Keynote um 13 Uhr.

Verkehrsverbund Vorarlberg

Busflotten-Elektrifizierung Frühling 2024

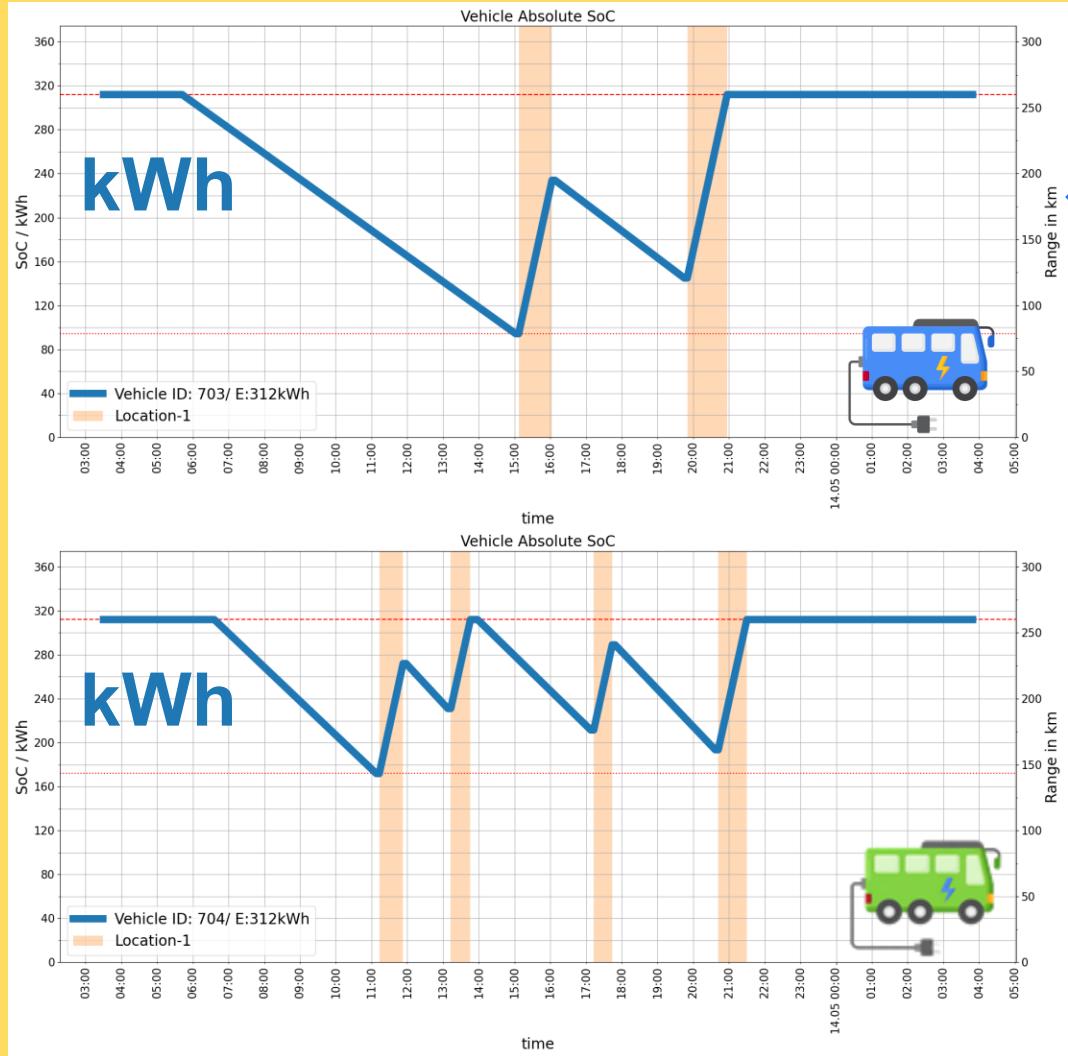


- Ladeorte**
- Betriebshöfe**
- E-Bus Haltestellen**
- D-Bus Haltestellen**



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

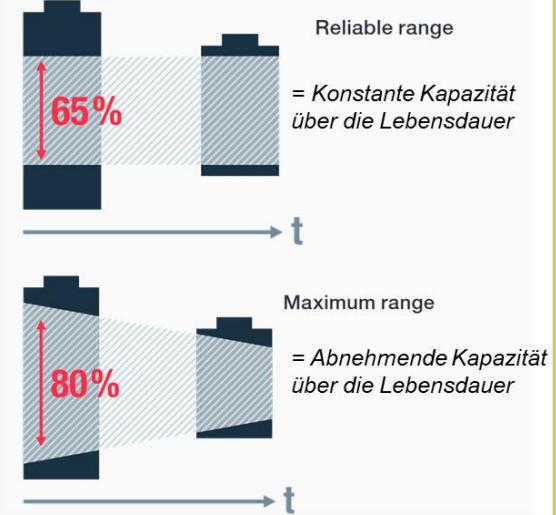
Ladesimulation – Aus Sicht des Fahrzeuges I



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
Reichweite	0 - 10 kWh/h
	260 km

MAN Batterienutzungstrategien:



- Werte z.B. von:
- Datenblättern (MAN)
 - Messungen (VVV, VKW, EVO)
 - Simulationen (RWU)



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

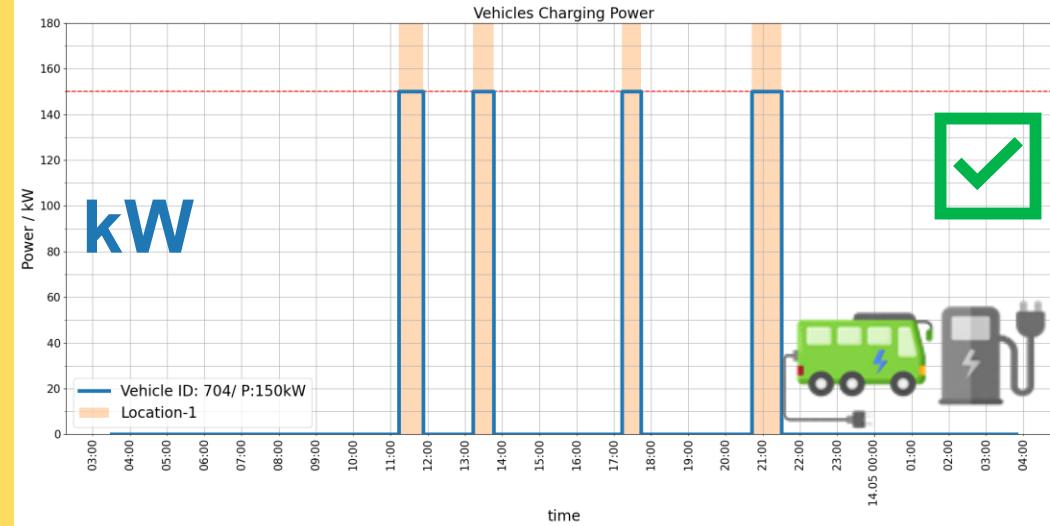
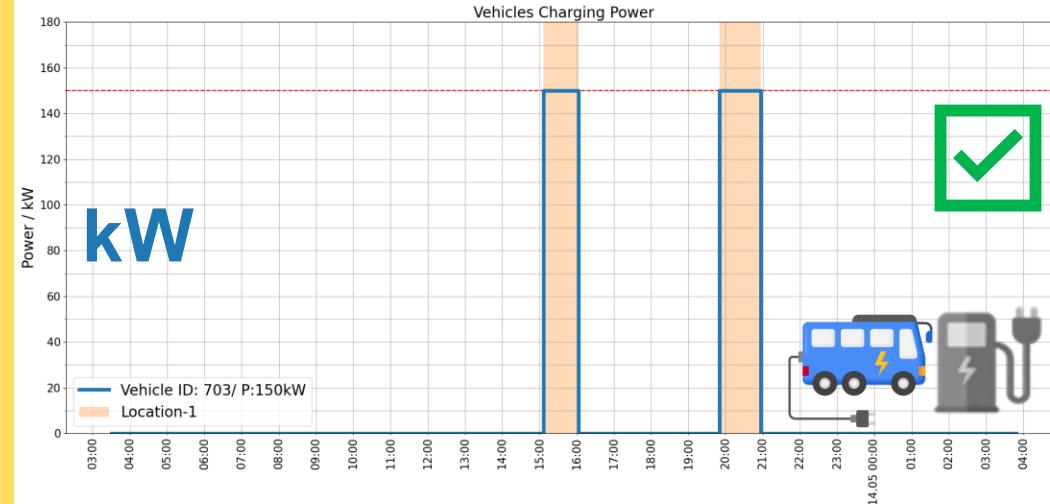
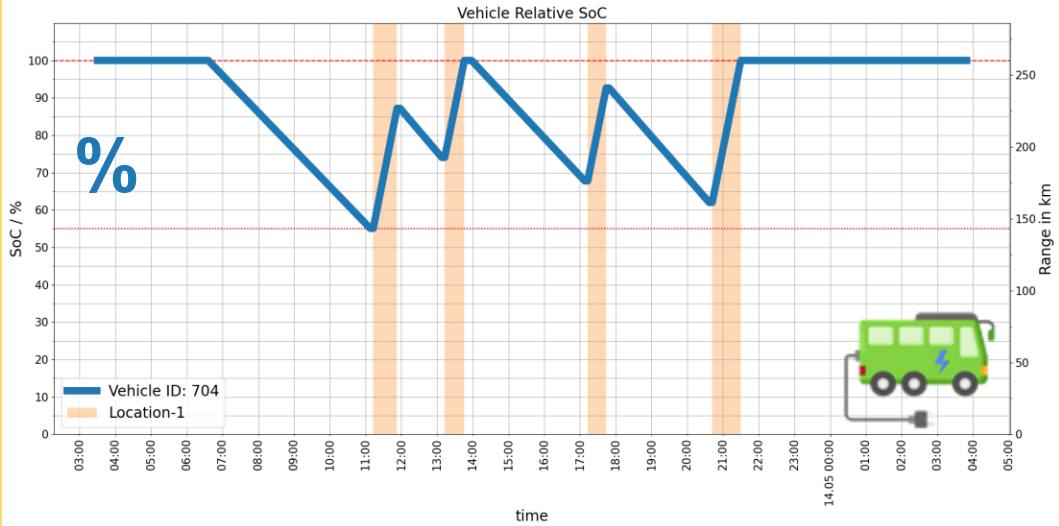
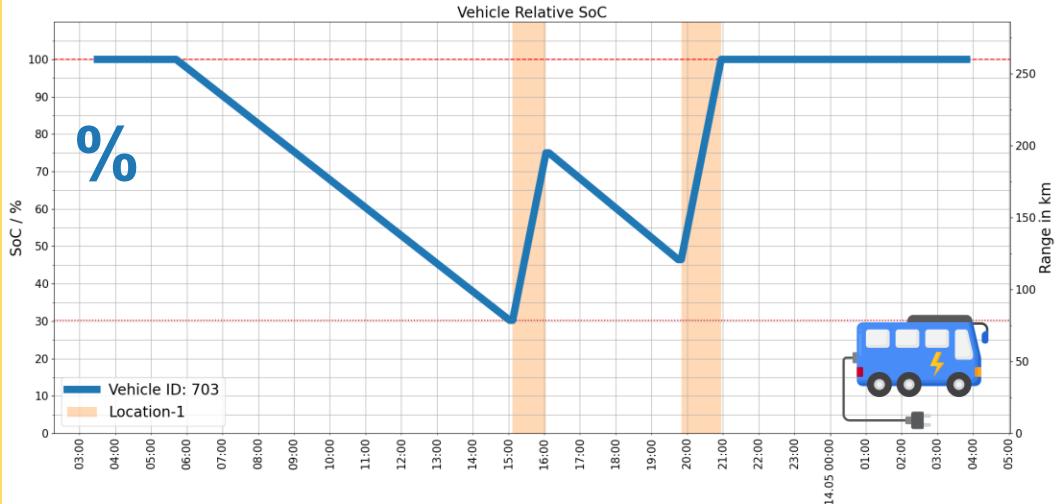


Ja: Infrastrukturplanung kann begonnen werden.



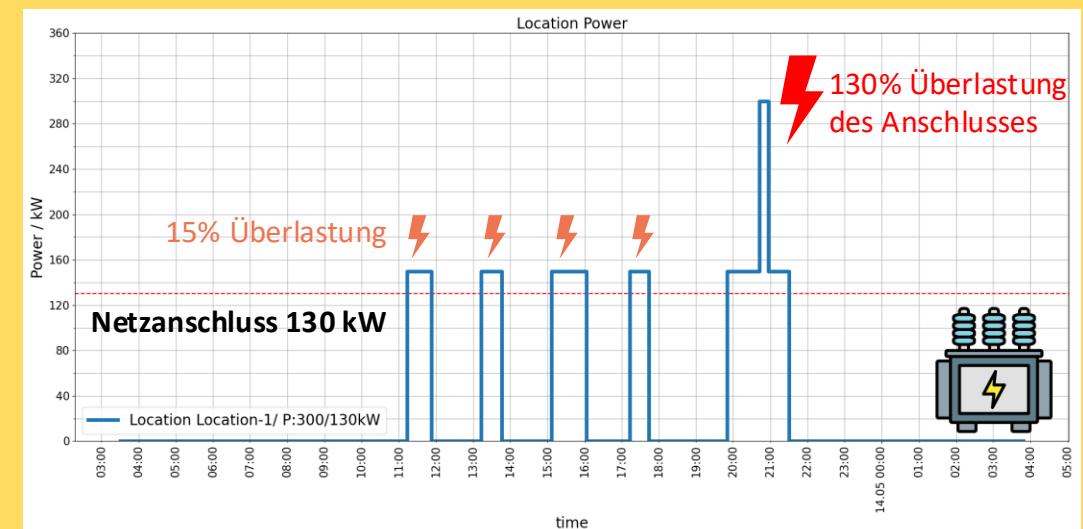
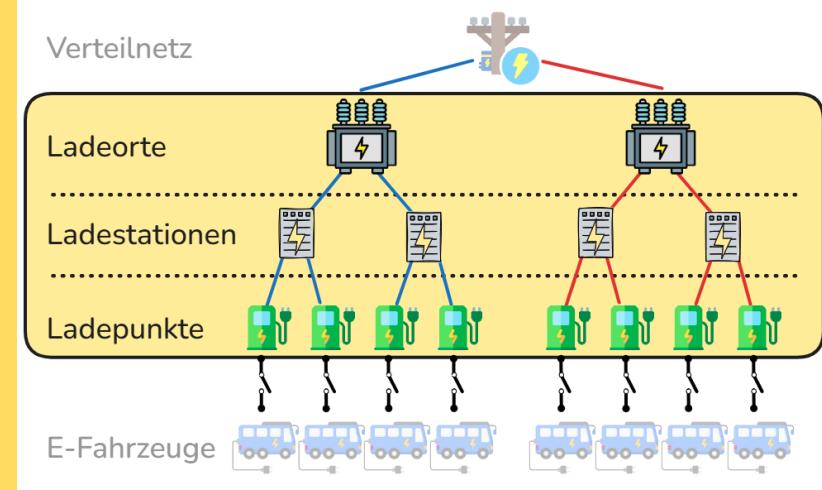
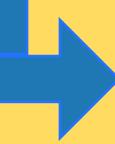
Nein: Fahrzeugtyp oder Fahrplan müssen angepasst werden!
Hier nützt auch eine Ladeoptimierung nichts.

Ladesimulation – Aus Sicht des Fahrzeuges II



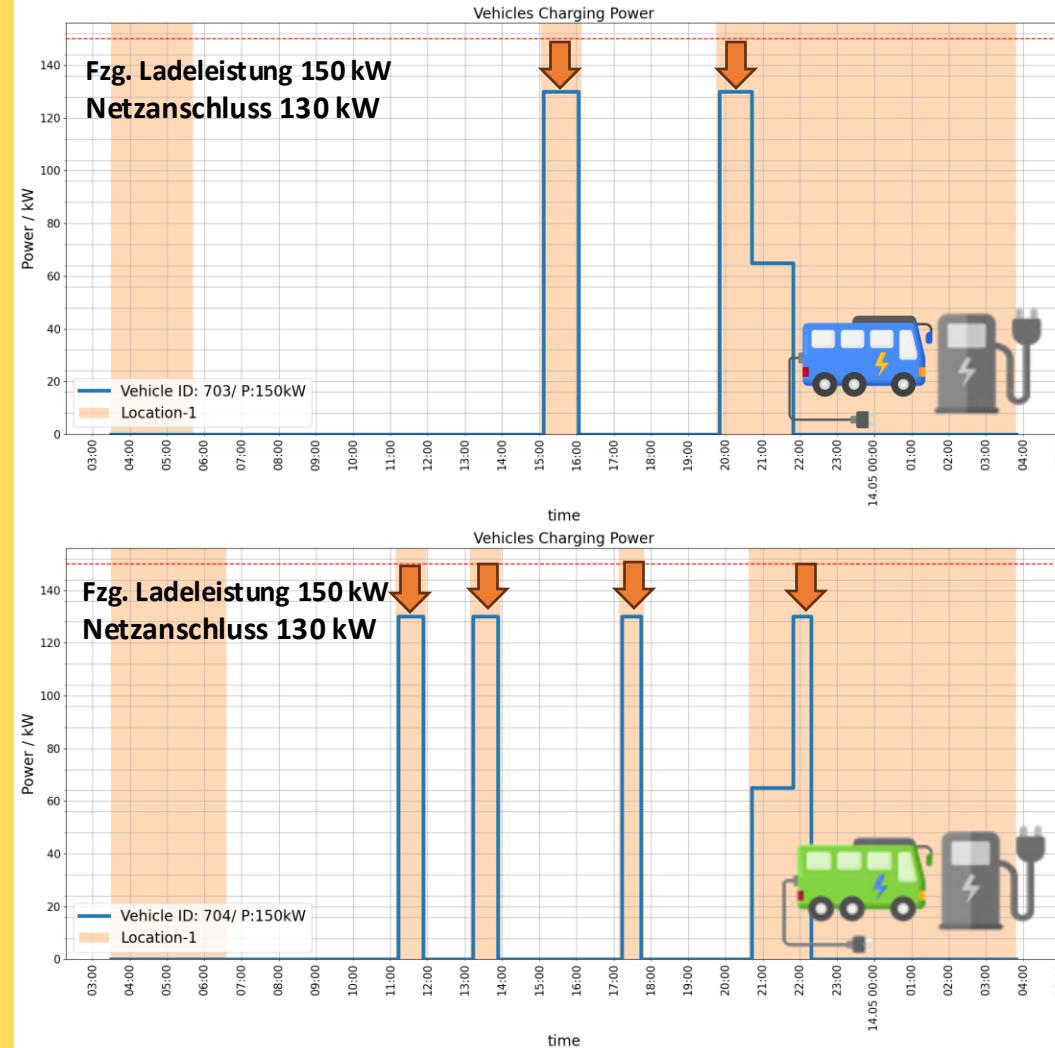
Schaut alles gut aus oder wurde hier etwas übersehen?

Ladesimulation – Aus Sicht des Fahrzeuges III



Der Netzanschluss am Betriebshof ist nicht ausreichend.

Ladesimulation – Fahrzeuge und Infrastruktur I



Ist die Ladeinfrastruktur ausreichend für den Einsatz?

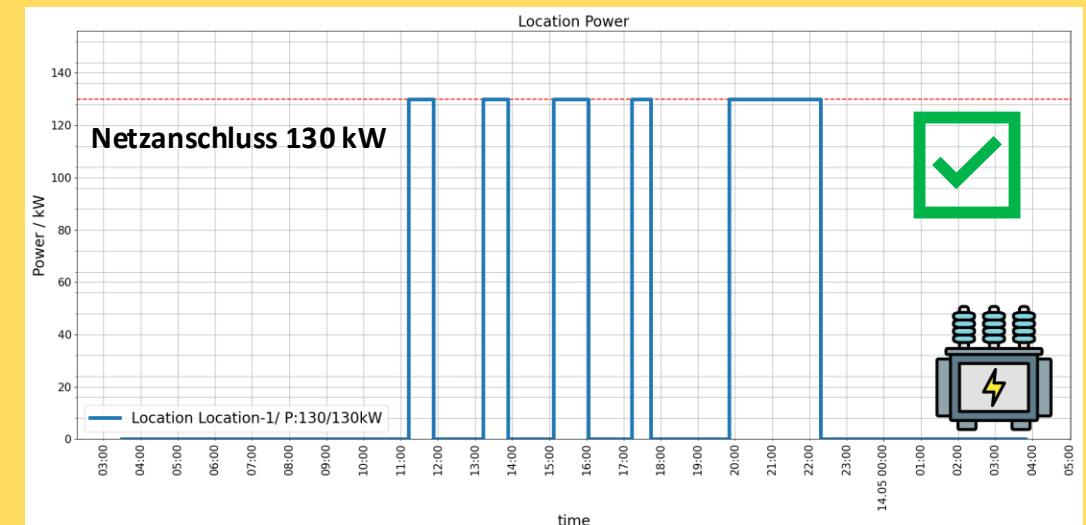
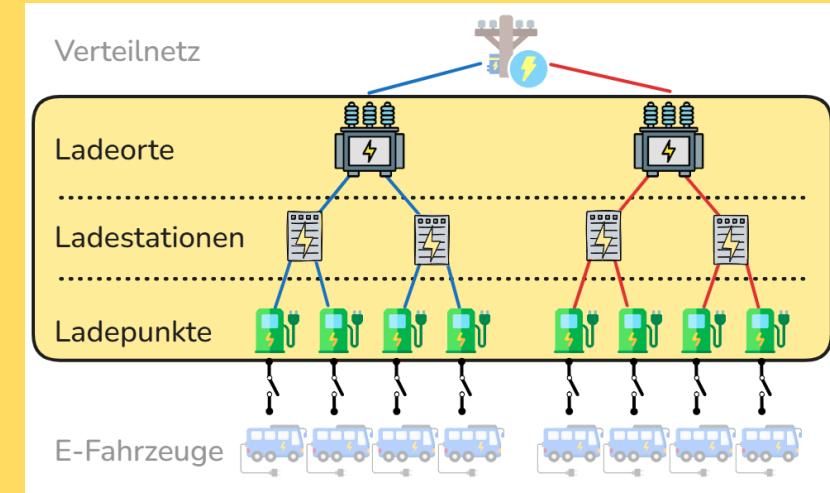
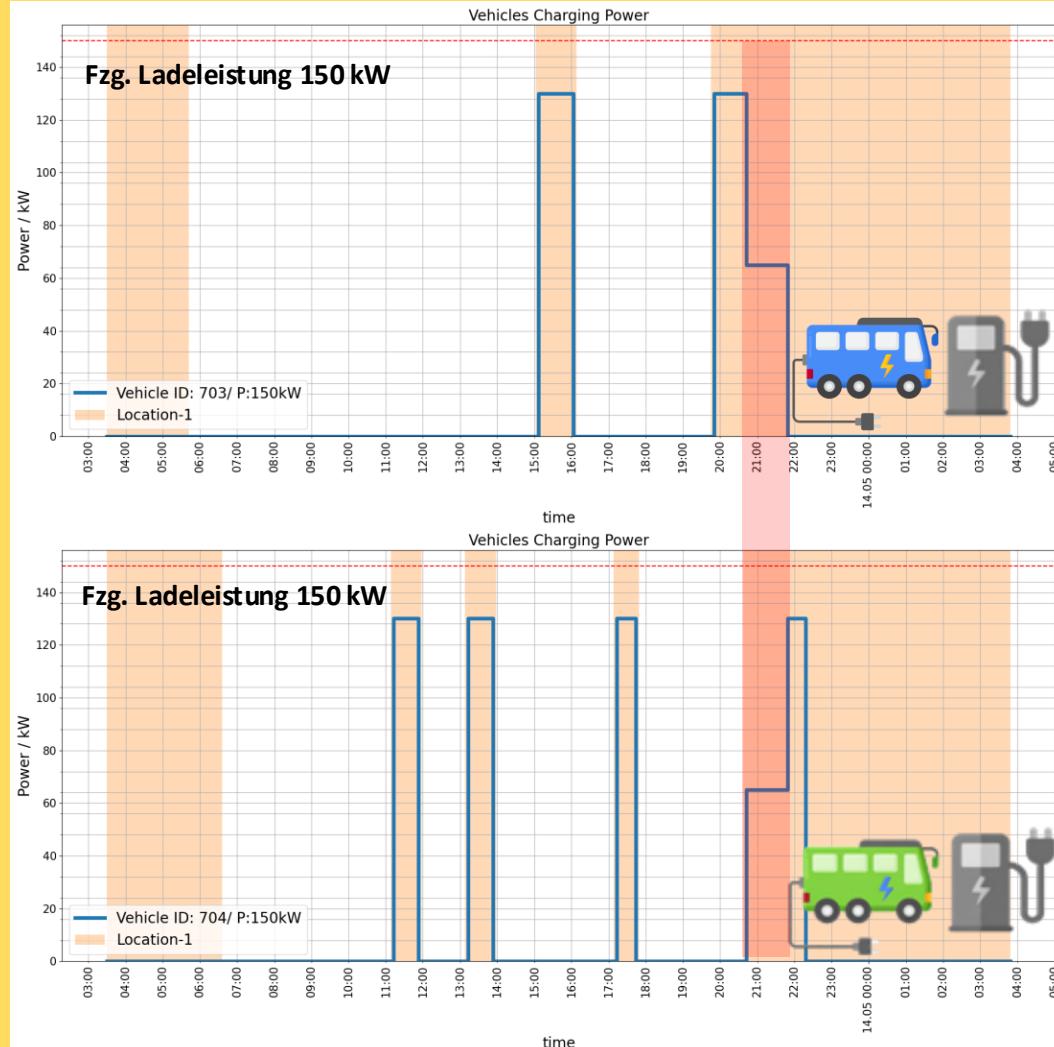


Ja: Infrastruktur und Ladeplan können weiter optimiert werden (z.B. auf Robustheit, Kosten).



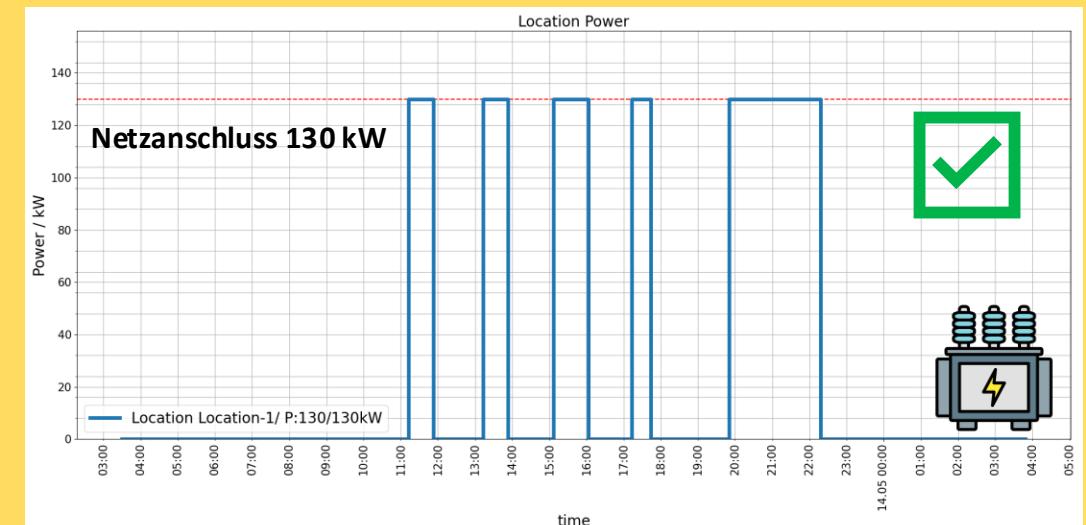
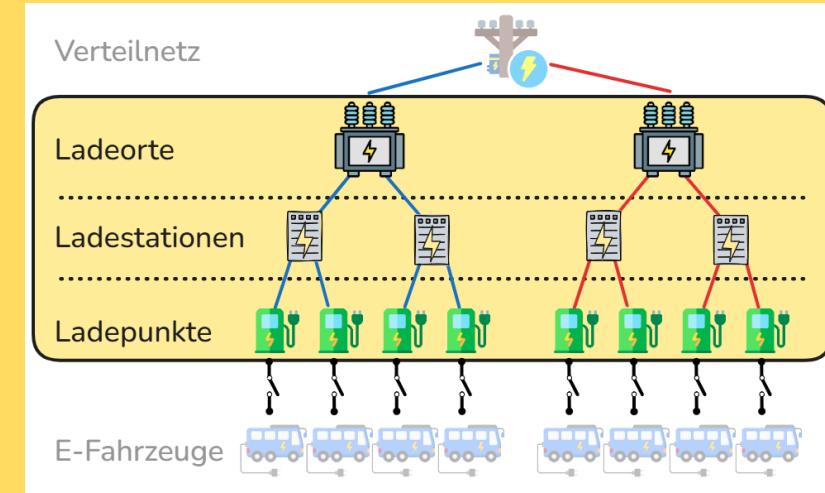
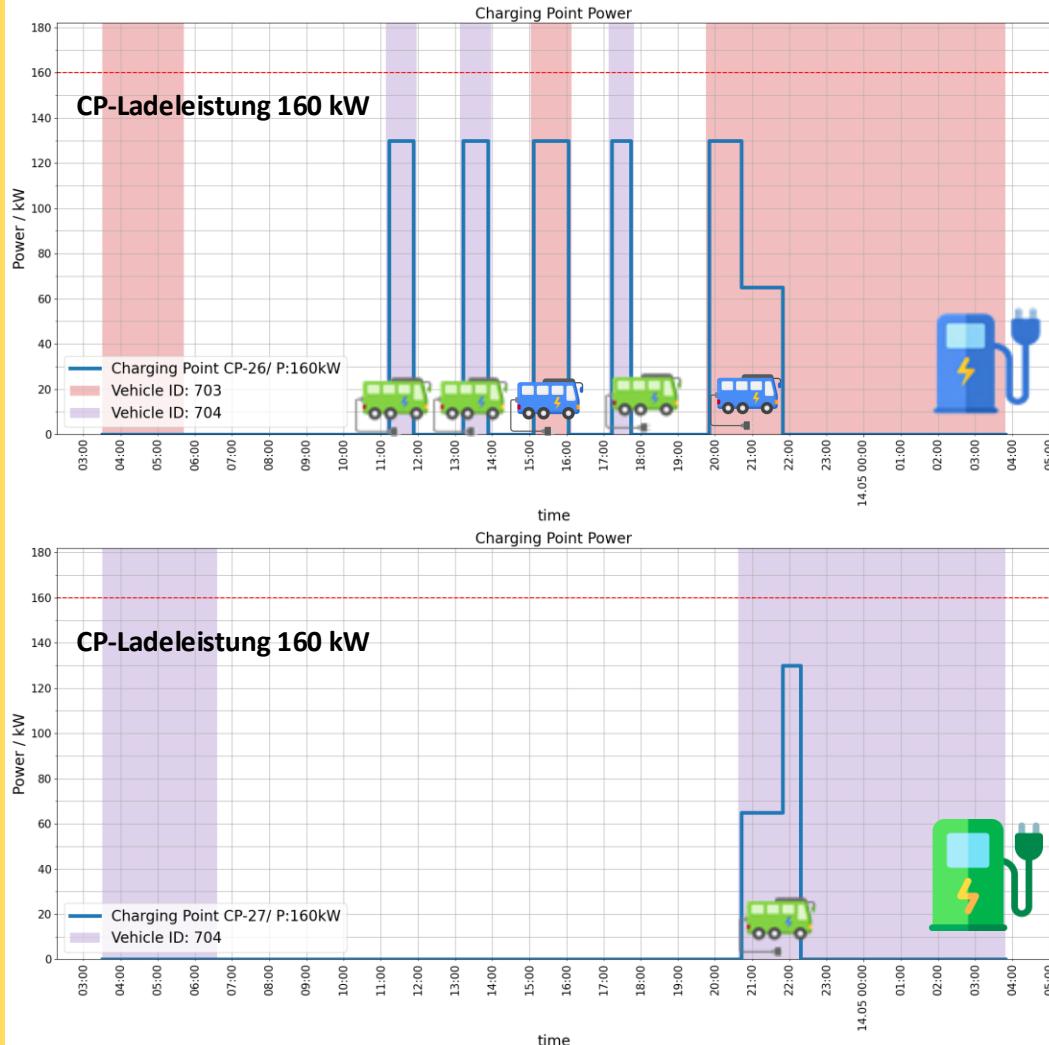
Nein: Infrastrukturausbau und/oder Ladeoptimierung untersuchen.

Ladesimulation – Fahrzeuge und Infrastruktur II



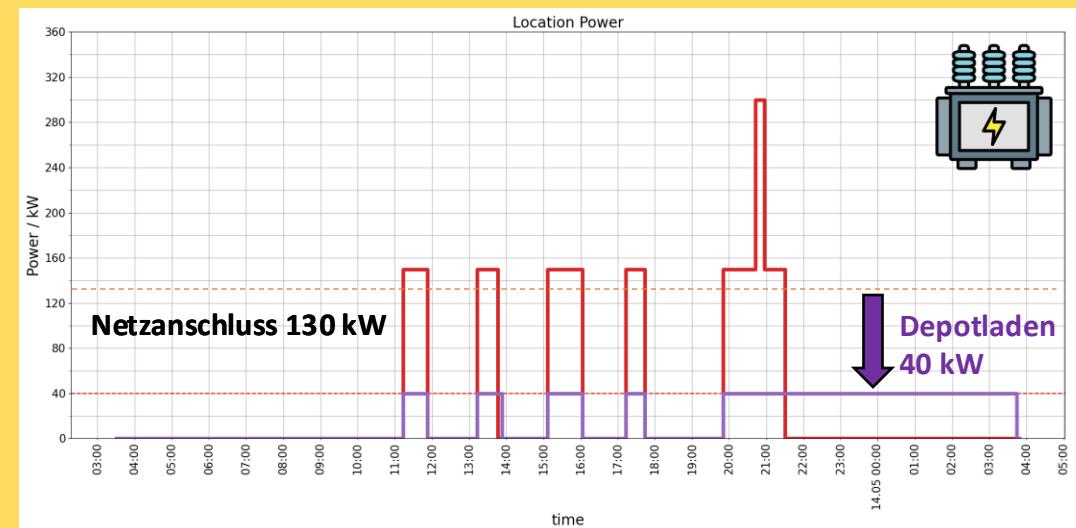
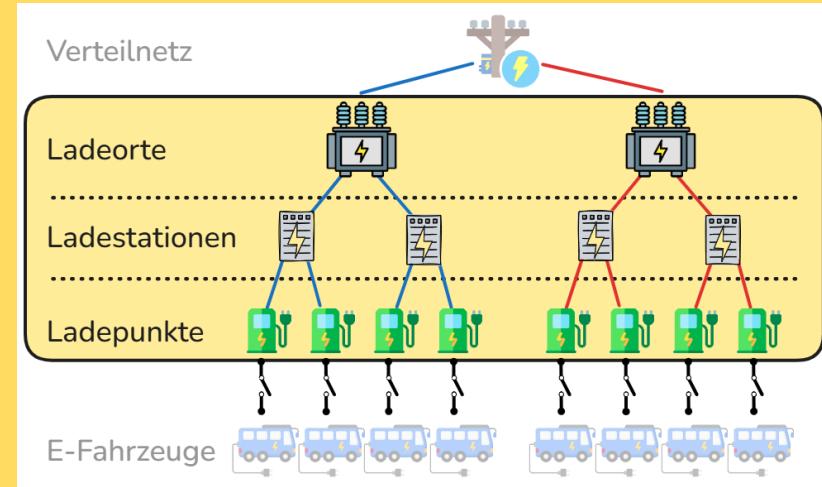
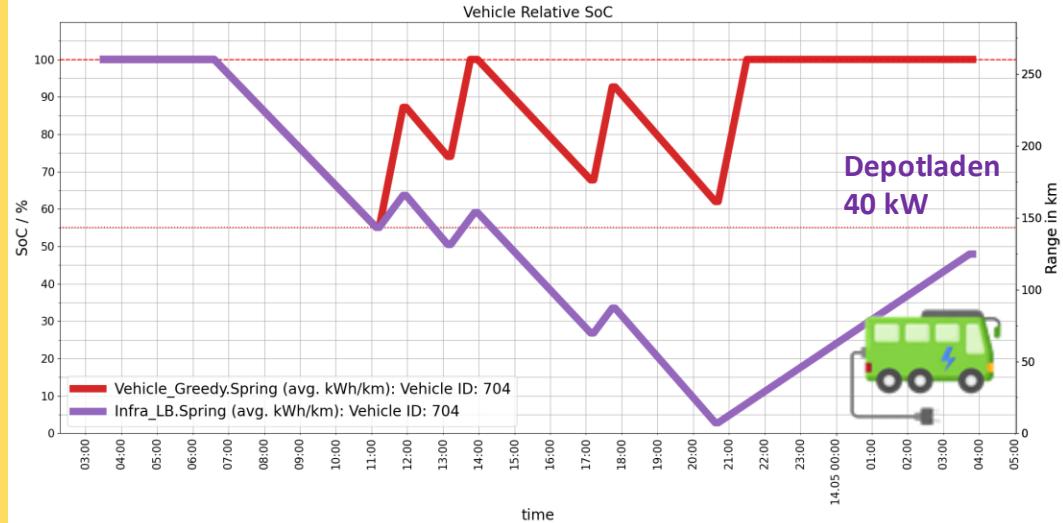
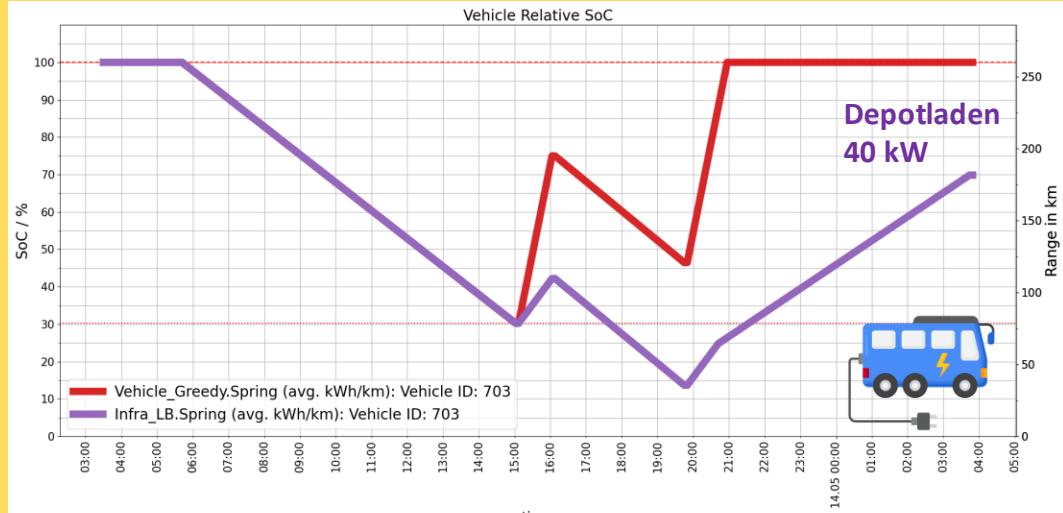
Unter gegebenen Annahmen funktioniert dieses Konzept aus Fuhrpark, Fahrplan und Ladeinfrastruktur.

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?

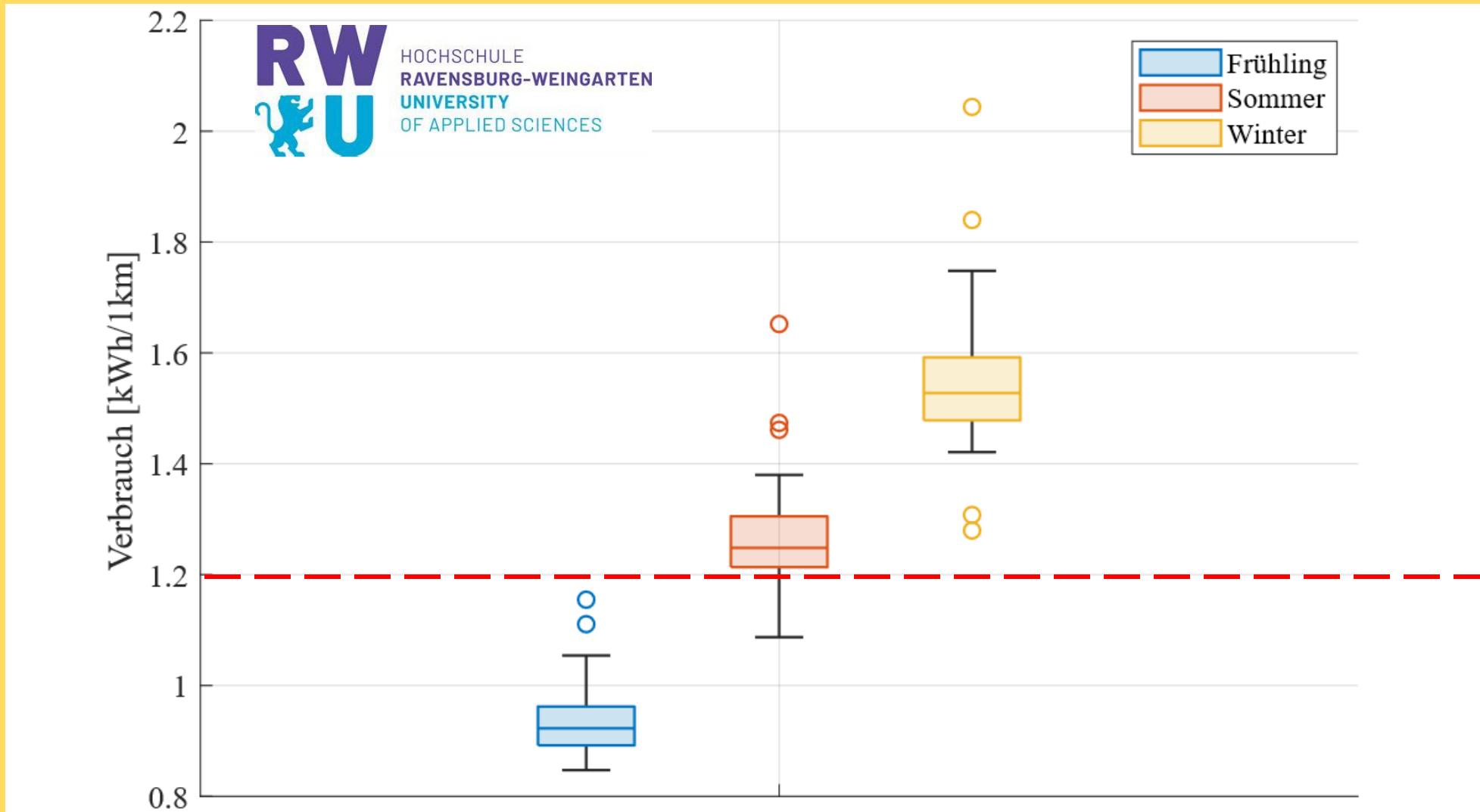


Ja: Umsetzung einplanen



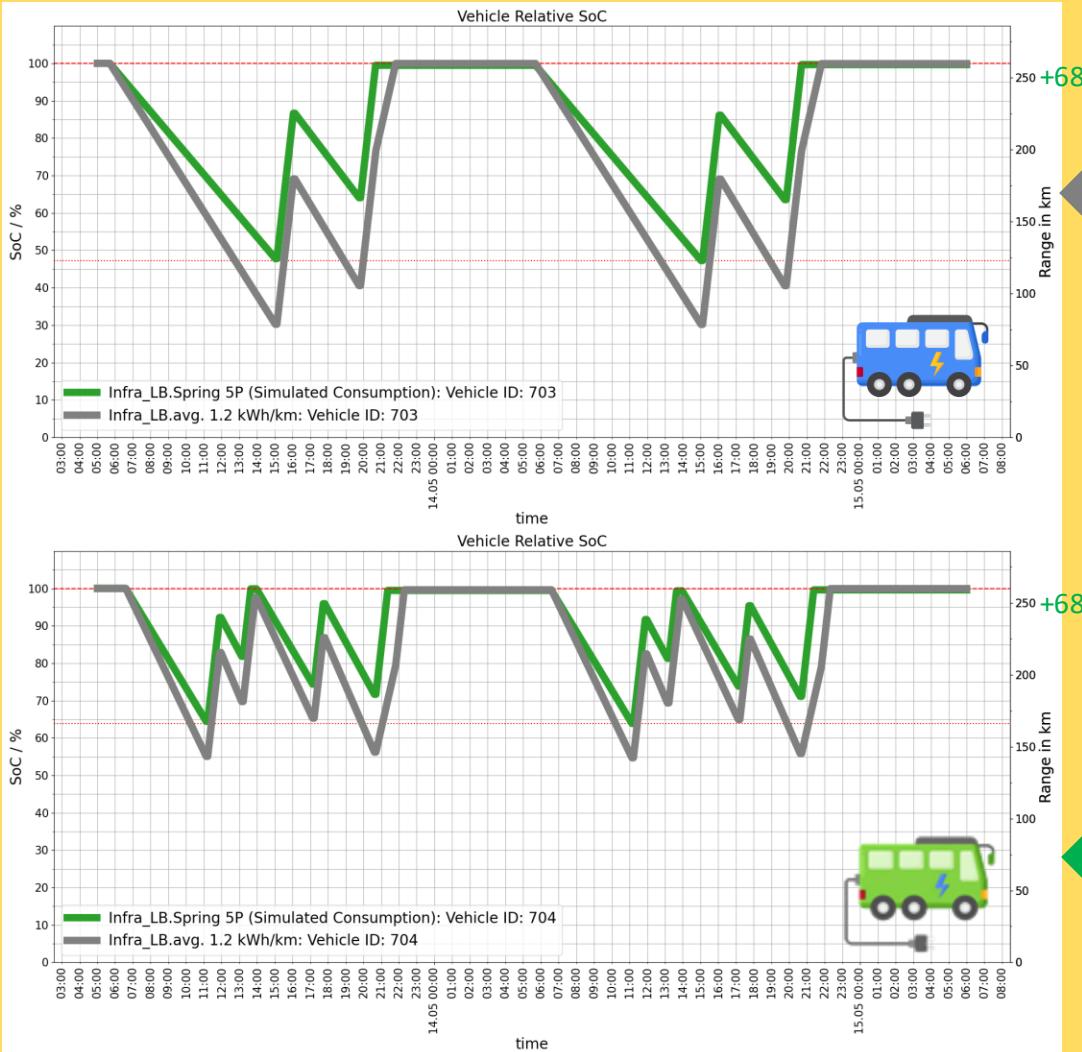
Nein: Das Potential durch intelligentes Lademanagement untersuchen.

Ladesimulation – Simulierte Verbräuche I



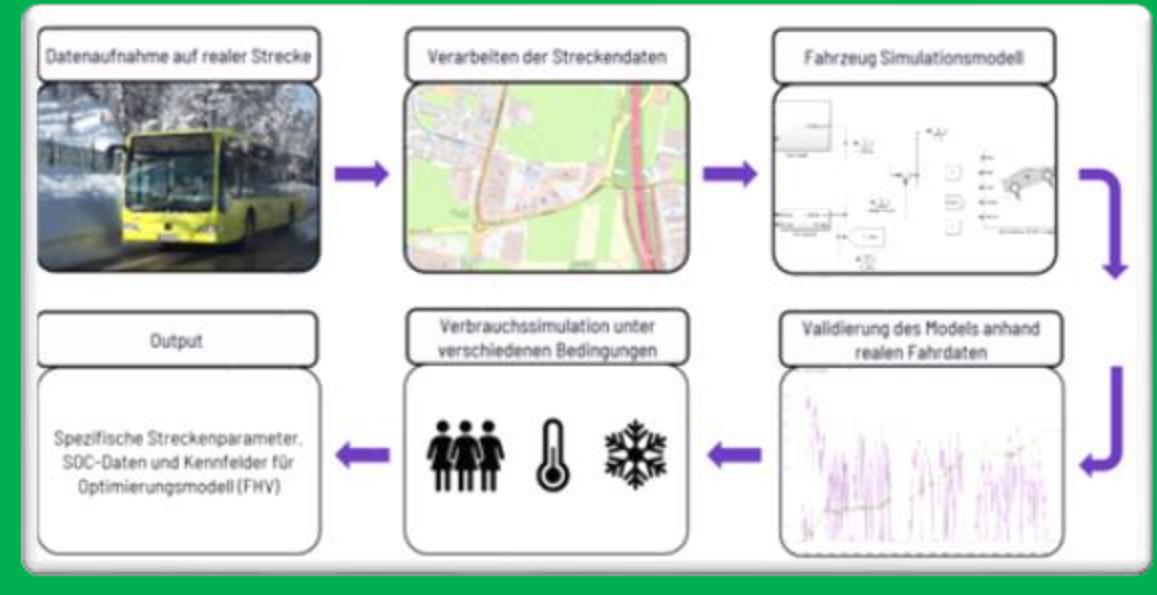
Quelle: Anja Konzept, Arne Hitz, FreeE-Bus Workshop 2024: Präsentation Verbrauchssimulation

Ladesimulation – Simulierte Verbräuche II



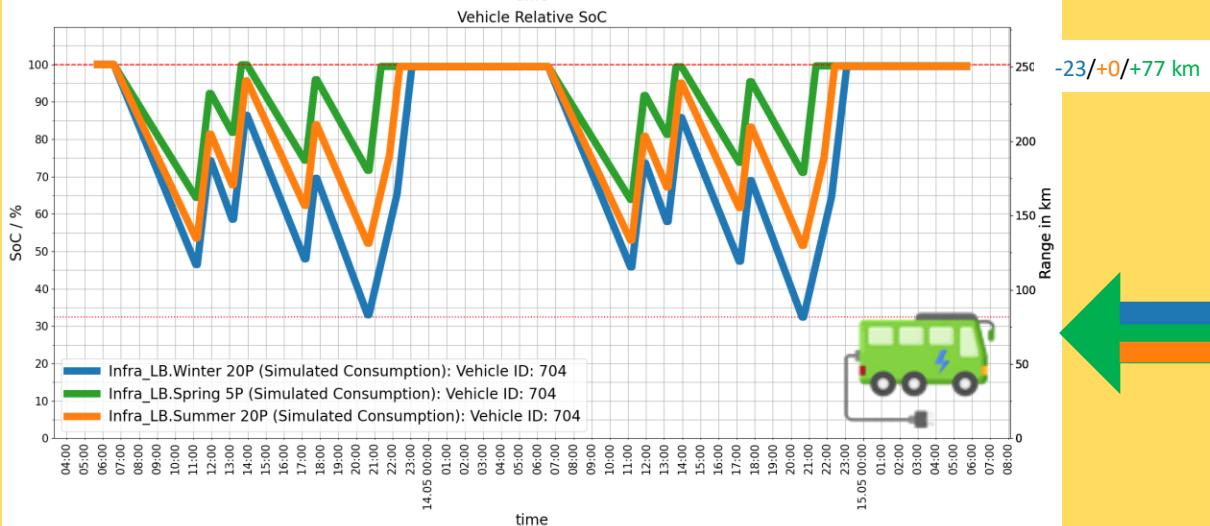
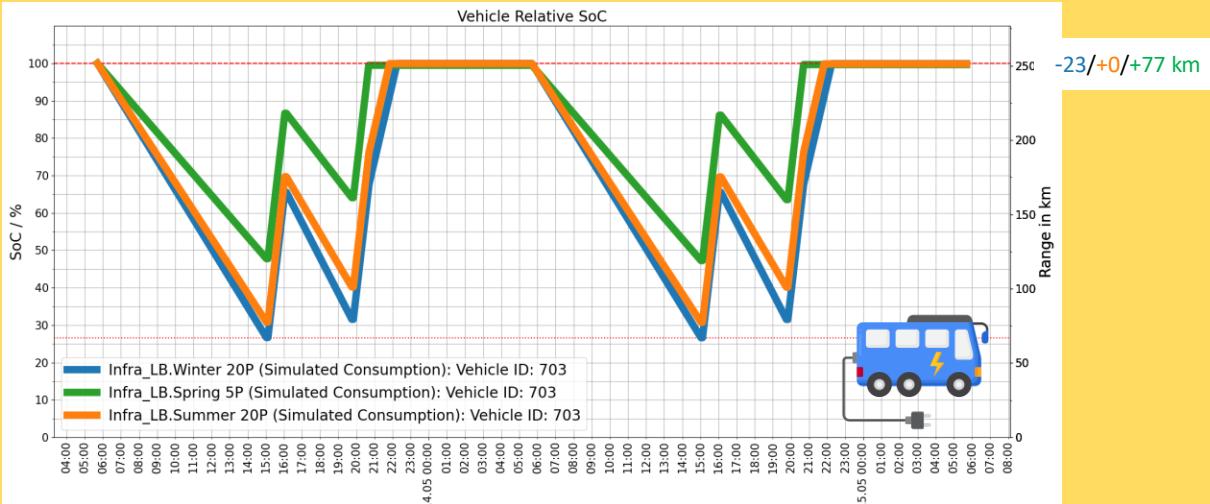
MAN Lion's City 12E	Generell	Frühling 15°C
✗ Brutto Batteriekapazität	480 kWh	
✓ Netto Batteriekapazität (DoD 65%)	312 kWh	
✓ Max. Ladeleistung	150 kW	
⚠ Spezifischer Verbrauch	1.2 kWh/km	0.95 kWh/km
⚠ Reichweite	260 km	328 km

Verbrauchssimulation @ RWU



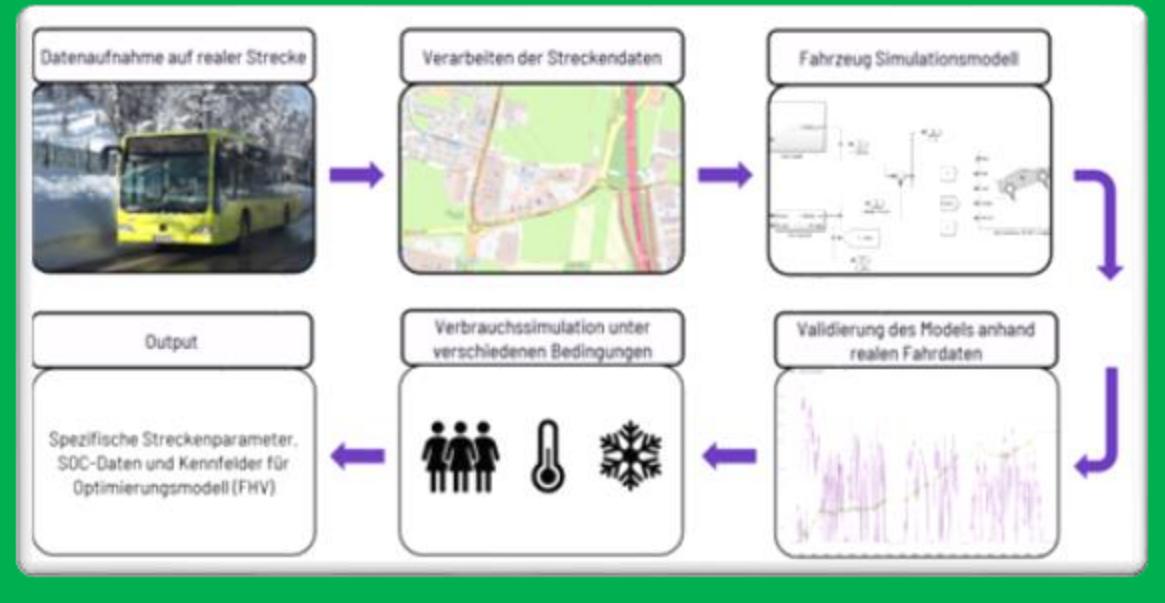
Für den Betrieb im Frühling und Herbst sind die typischen Verbrauchswerte eher zu konservativ.

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

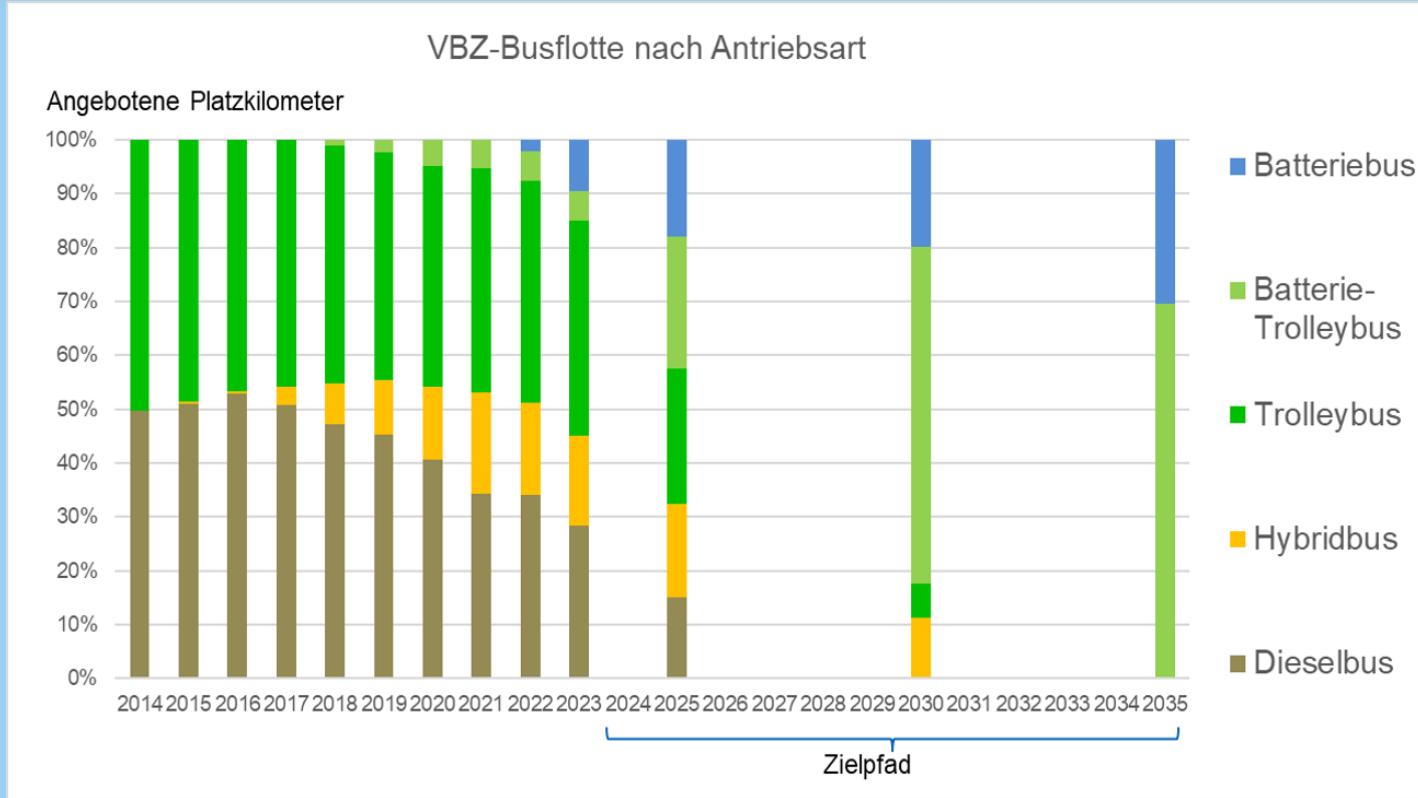
Verbrauchssimulation @ RWU



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

Verkehrsbetriebe Zürich

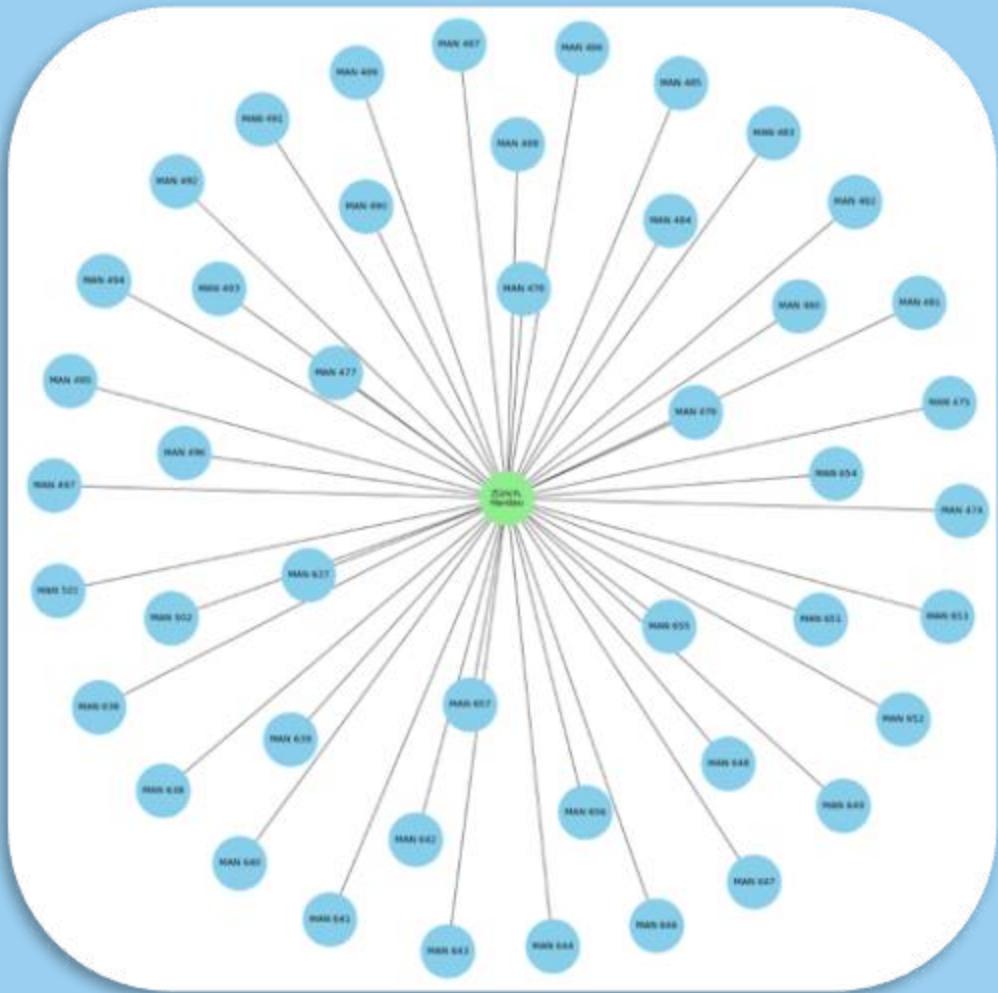
Busflotten-Elektrifizierung



i Elektrifizierung: Batteriebusse und Batterie-Trolleybusse

Verkehrsbetriebe Zürich

Ladeorte

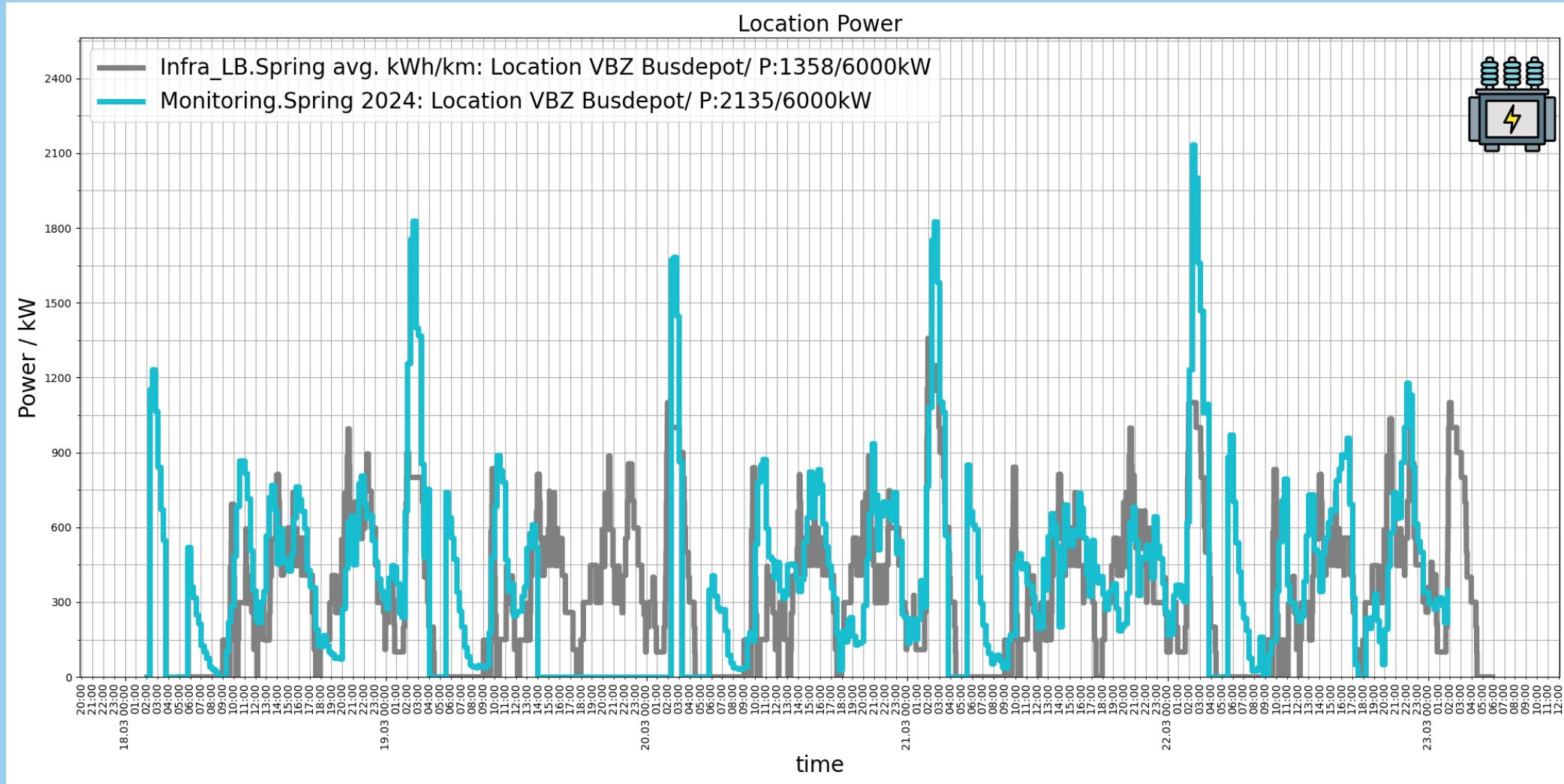


● Ladeorte
● E-Busse



i Zentrale Systeme mit >55 Batteriebusse am Depot

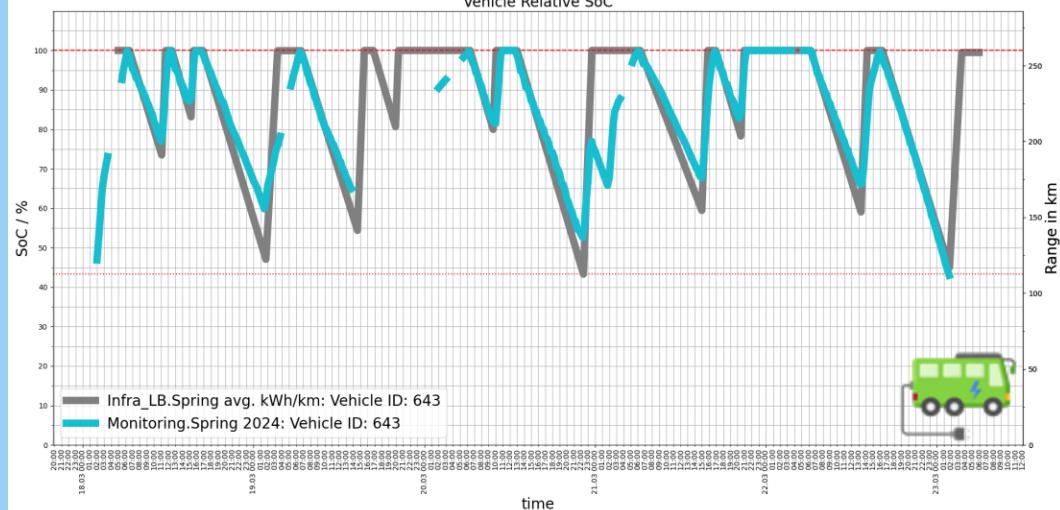
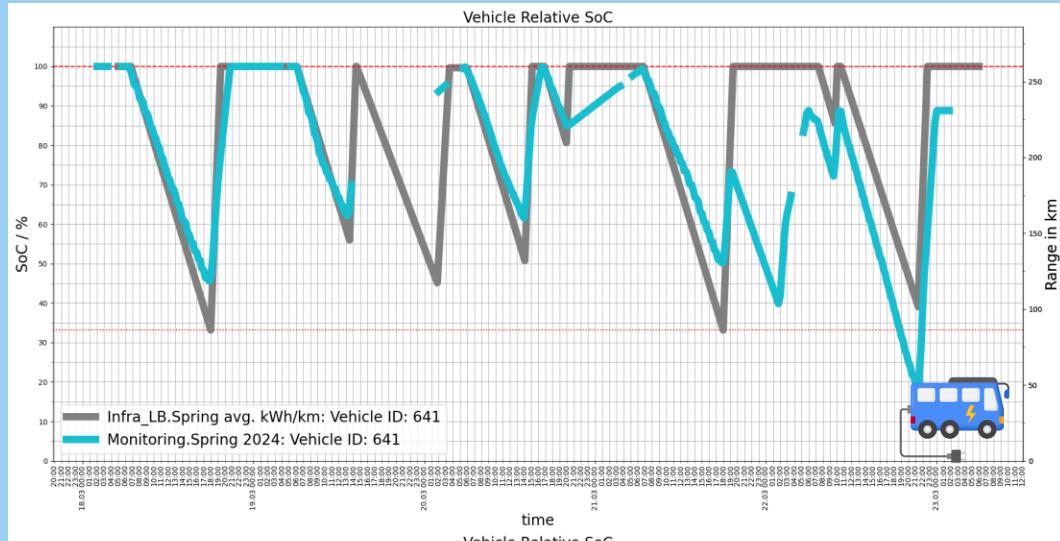
Ladesimulation – Verifizierung mit Messwerten I



i

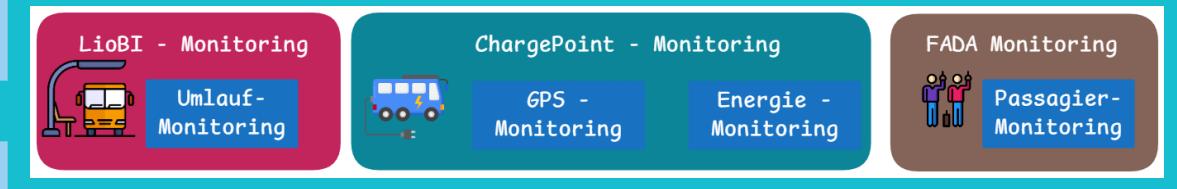
Bereits gute Übereinstimmung zwischen Simuliertem Szenario und real Messungen, beim ersten Daten-Austausch mit VBZ.

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

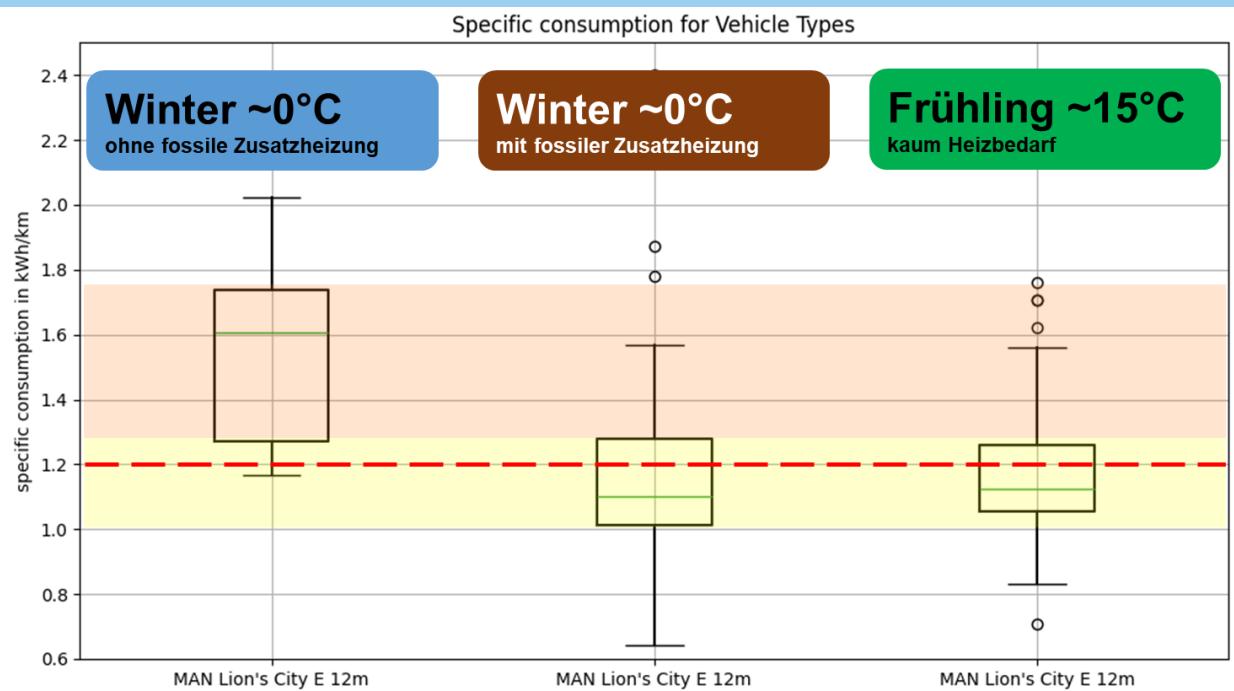


Für den Betrieb im Frühling passen die typischen Verbrauchswerte hier sehr gut.

Ladesimulation – Verifizierung mit Messwerten III

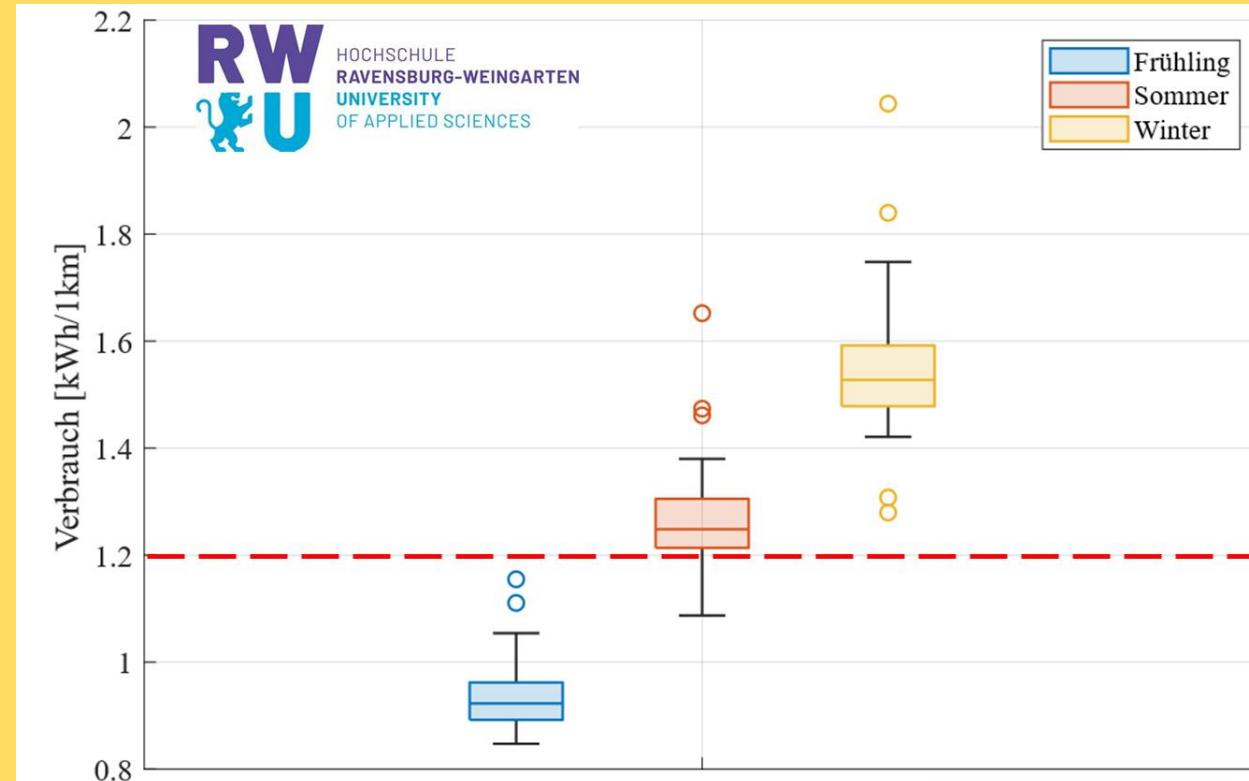
VBZ-Monitoring

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

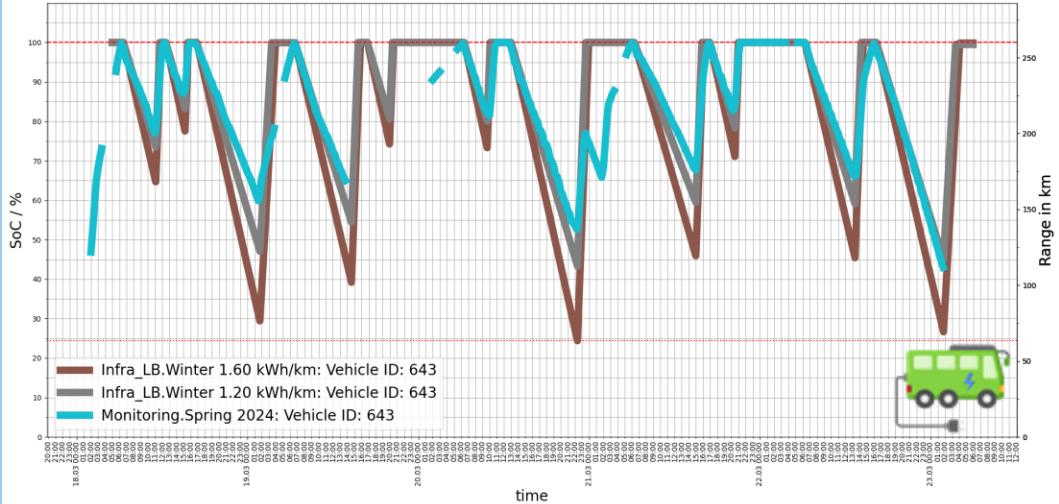
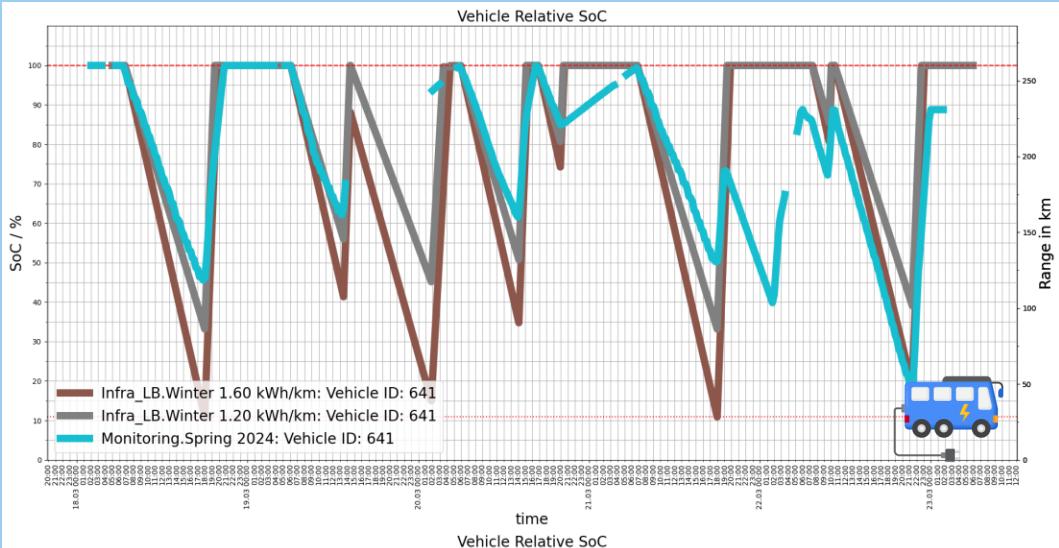


RWU-Simulationen

- Simulation auf Basis von VVV GPS-Tracking



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



**Frage 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	

