

Projektabschluss BHLL

Hochleistungsladestation
für den e-ÖPNV ohne Netzausbau

Ladestrategien für Depot- und
Gelegenheitsladung, Schwungrad-Speicher

Julian Brendel

Pfungstadt, 19.11.2024

Abschlussveranstaltung

Buffered-HLL



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Agenda



Zielstellung und Methodik

Depotladung

Gelegenheitsladung

Zusammenfassung und Ausblick

Einführung und Zielstellung

Klarer Transformationspfad für Busbetriebe zur E-Mobilität:

Clean Vehicle Directive (EU)		CO ₂ -Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge (EU)	
2021 – 2025	2026 – 2030	2030 – 2034	ab 2035
45 % ¹	65 % ¹	90 % ²	100 % ²

¹ Anteil „sauberer Fahrzeuge“ an Beschaffung

² CO₂-Minderung verglichen mit 2020

Herausforderungen:

- Hoher Kostendruck im öffentlichen Sektor
- Volatile Erzeugung Erneuerbarer Energien und Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors belasten die Stromnetze

Ziele:

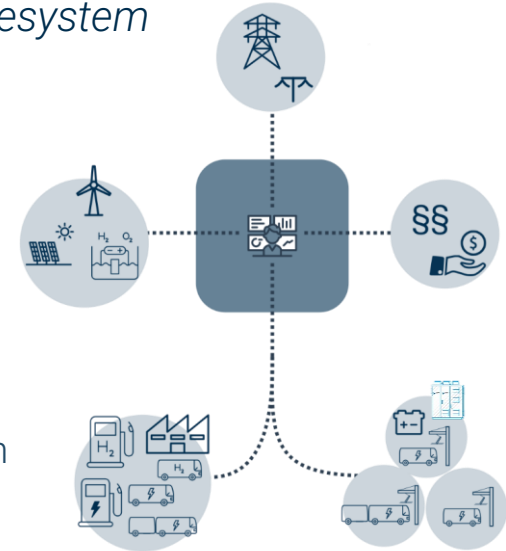
- Steigerung der Kosteneffizienz und Entlastung der Stromnetze durch:
- Ladestrategien für e-Bus Flotten
 - Einsatz von Schwungradspeichern

Methodik: Simulationsprogramm SimBA



Modulare **Softwaretoolbox** zur Erstellung bedarfsgerechter Analysen und Konzepte für die Elektrifizierung umlaufbasierter Fahrzeugflotten und deren Integration ins Energiesystem

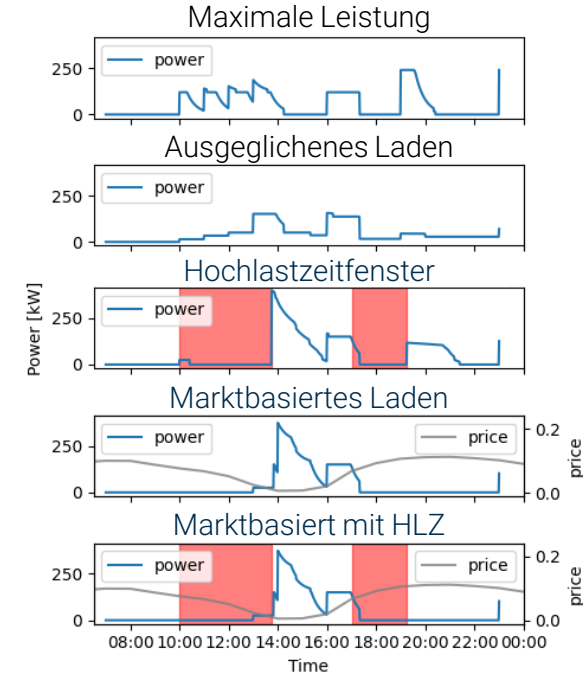
- Einlesen realer **Umlaufdaten**
- Intelligente **Disposition** von Fahrzeugen zu Umläufen
- **Fahrsimulation** für unterschiedliche Fahrzeugkategorien und Einsatzbedingungen
- **Ladesimulation mit Ladestrategien** zur örtlich und zeitlich aufgelösten Ermittlung des **Energiebedarfs**
- **Ökonomische Bewertung**
- Optimierte Positionierung und Dimensionierung von **Ladeinfrastruktur**, stationären Speichern und Netzanschlüssen
- Ausgelegt auf den Einsatz von Depot- und Gelegenheitsladung, sowie Brennstoffzellen
- **Open Source:** <https://github.com/rl-institut/SimBA>



Ladestrategien

Jede Ladestrategie versucht das Fahrzeug bis zur Abfahrt auf einen Ziel-„State of Charge“ (SoC) aufzuladen

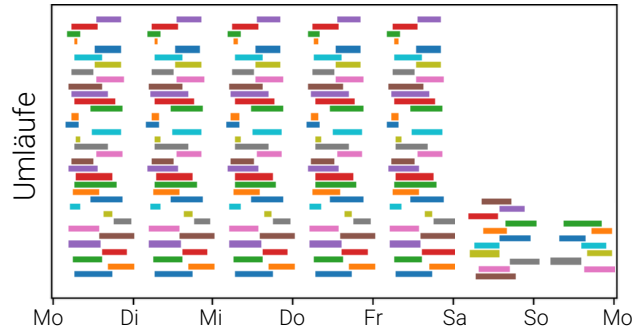
- Maximale Leistung („greedy“)
Laden mit maximaler Leistung
- Ausgeglichenes Laden
Laden mit minimaler Leistung
- Hochlastzeitfenster (HLZ)
Reduziert die Ladeleistung innerhalb von Hochlastzeitfenstern, welche vom Verteilnetzbetreiber vorgegeben werden, um Netzentgelte zu reduzieren (nach §19 Abs. 2 Satz 1 StromNEV)
- Marktbasiertes Laden
Passt die Ladeleistung an dynamische Energiepreise an, um Strom-Beschaffungskosten zu reduzieren
- Marktbasiertes Laden mit Hochlastzeitfenstern
Kombiniert beide Strategien



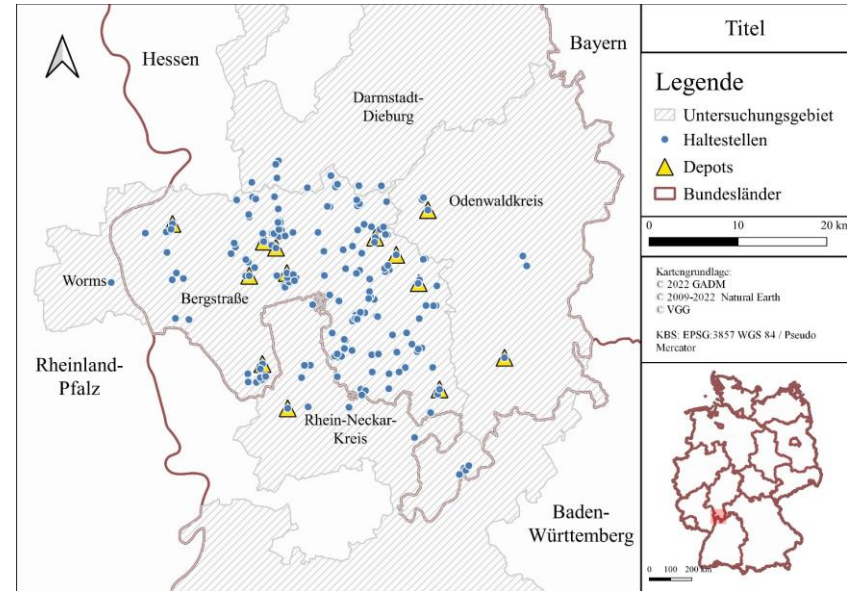
Methodik: Untersuchungsgebiet VGG

Untersuchungen für vollelektrischen Betrieb der Busflotte der Verkehrsgesellschaft Gersprenztal mbH (VGG)

- 771 Umläufe pro Woche
- 13 Depots
- 168 Endhaltestellen
- Elektrifizierung mit Depotladern (bevorzugt) und Gelegenheitsladern (ergänzend)



Verteilung der Umläufe für das größte Depot



Bediengebiet der VGG

Methodik: Untersuchungsgebiet VGG

Eingangsparameter (Auswahl)

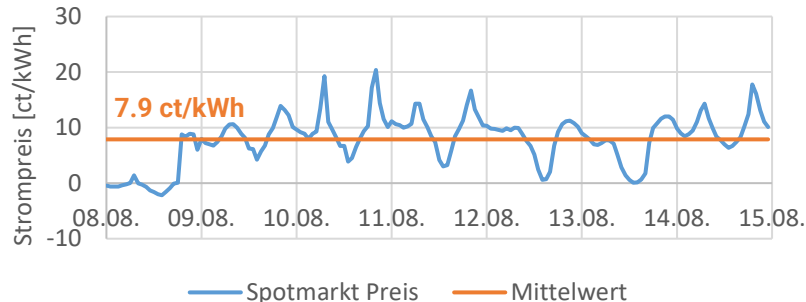
Stromkosten

Netz- entgelte	Benutzungsdauer	< 2500 h/a	≥ 2500 h/a
	Leistungspreis [€/(kW*a)]	18,53	71,33
	Arbeitspreis [ct/kWh]	3,44	1,34
Steuern und Abgaben [ct/kWh]		2,59	
Beschaffungskosten (basis) [ct/kWh]		7,7	

Hochlastzeitfenster

10:00 - 13:45 Uhr 17:00 - 19:15 Uhr

Dynamische Beschaffungskosten: Börsenpreise des EPEX Spot Day Ahead DE



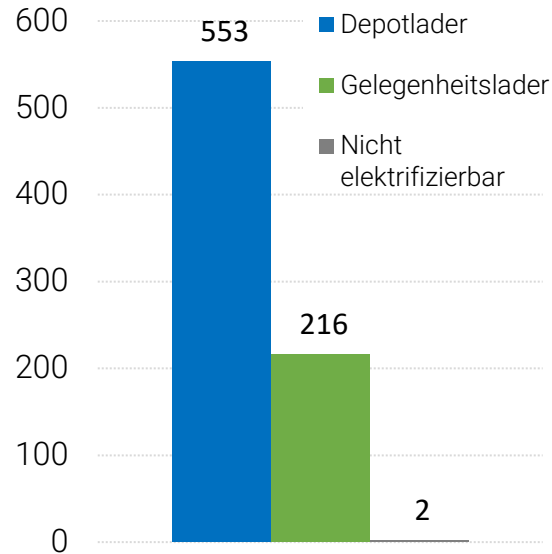
Fahrzeugtypen

	Nutzbare Kapazität [kWh]		Mittlerer worst-case Verbrauch [kWh/km]
	Depot- lader	Gelegenheits- lader	
Midibus (10 m)	283,5	194,4	1,36
Solobus (12 m)	315	194,4	1,50
Gelenkbus (18 m)	378	194,4	2,35

Ergebnisse der Vollelektrifizierung

Um 771 Umläufe pro Woche zu bedienen werden 132 batterie-elektrische Busse benötigt

Umläufe

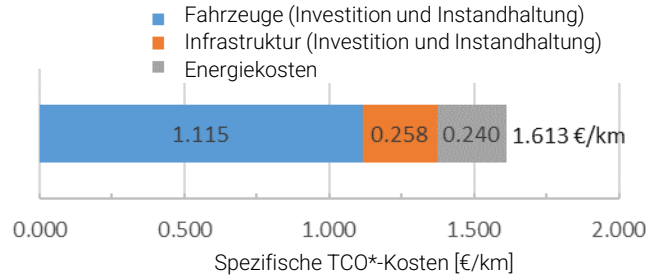


Benötigte Infrastruktur

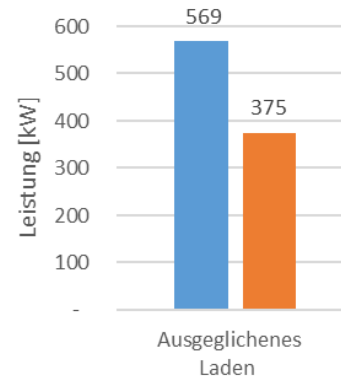
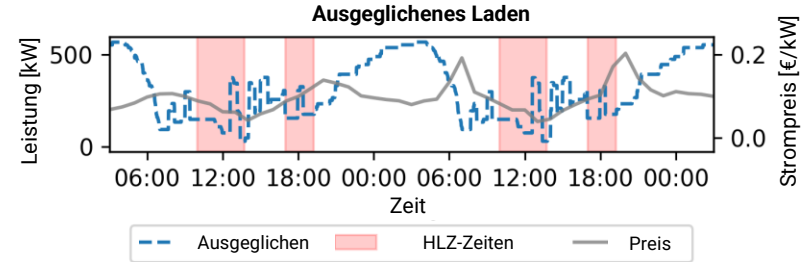
	Depots	Endhaltestellen
Elektrifizierte Haltestellen	11	21
Maximale Ladeleistung je Ladepunkt	150 kW	300 kW

Ladung im Depot: Ausgeglichenes Laden

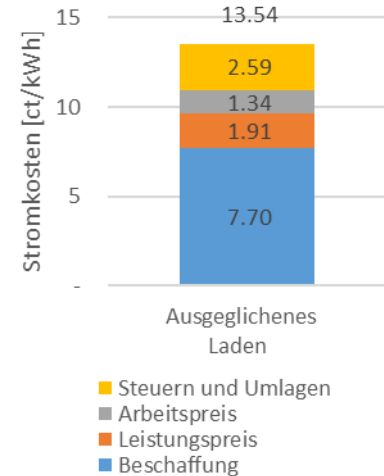
- ▶ Energiekosten machen etwa 15 % der Gesamtkosten aus



- ▶ Darstellung bezieht sich auf das größte Depot
- ▶ Beim ausgeglichenen Laden betragen die Stromkosten 13,54 ct/kWh
 - ▶ Außer Steuern und Umlagen können die weiteren Kostenbestandteile durch Ladestrategien beeinflusst werden
- ▶ Benutzungsstunden des Netzanschlusspunktes: 3729 h/Jahr



■ Lastspitze ■ Lastspitze im HLZ



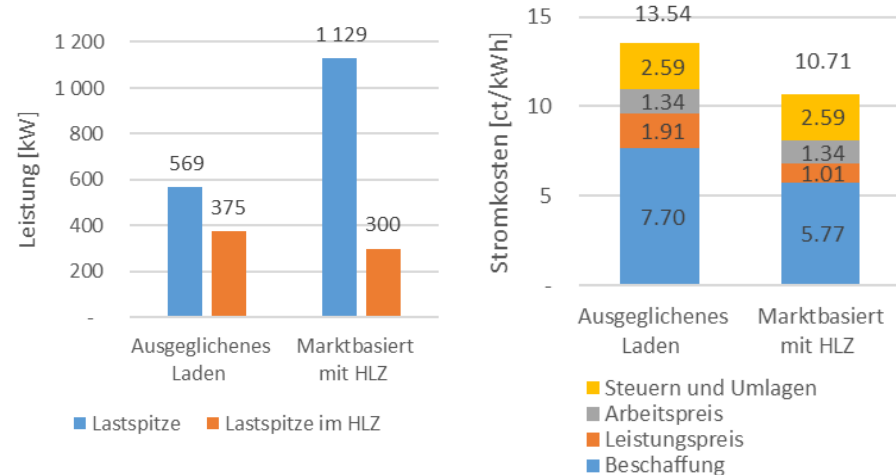
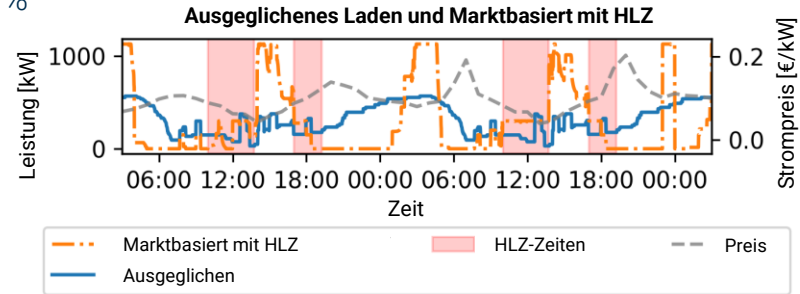
*) Total Cost of Ownership

Ladung im Depot: Marktbasiertes Laden mit HLZ

- ▶ Benötigte Netzanschlussleistung erhöht sich um 100 %
- ▶ Benutzungsdauer des Netzanschlusspunktes: 1879 h/Jahr
 - ▶ Jedoch Wahl des Tarifes > 2500 h/Jahr: Freie Wahlmöglichkeit für Kunden von §19 Abs. 2 StromNEV

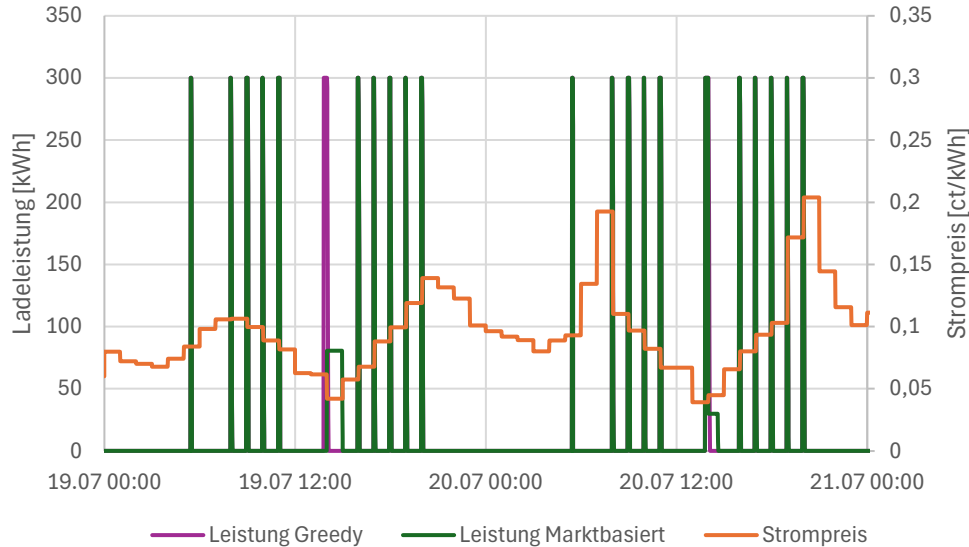
Benutzungsdauer	< 2500 h/a	≥ 2500 h/a
Leistungspreis [€/ (kW*a)]	18,53	71,33
Arbeitspreis [ct/kWh]	3,44	1,34

- ▶ Reduzierter Leistungspreis: - 47 %
- ▶ Reduzierte Beschaffungskosten: - 25 %
- ▶ Einsparungen Stromkosten gesamt: - 21 %
- ▶ Bei Annahme durchschnittlicher Werte für 2023:
 - ▶ Beschaffungspreis Industrie: 14,7 ct/kWh
 - ▶ EPEX Spot Day Ahead price: 7,9 ct/kWh
 - Einsparungen Stromkosten gesamt: - 40 %

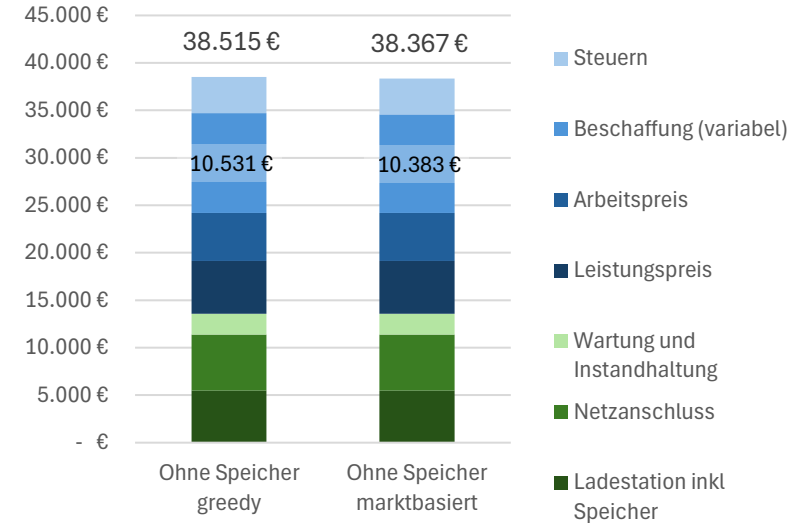


Ladung an Endhaltestellen: Ohne Speicher

Lastverläufe am Netzanschlusspunkt



Gesamtkosten der Ladestation (jährlich)



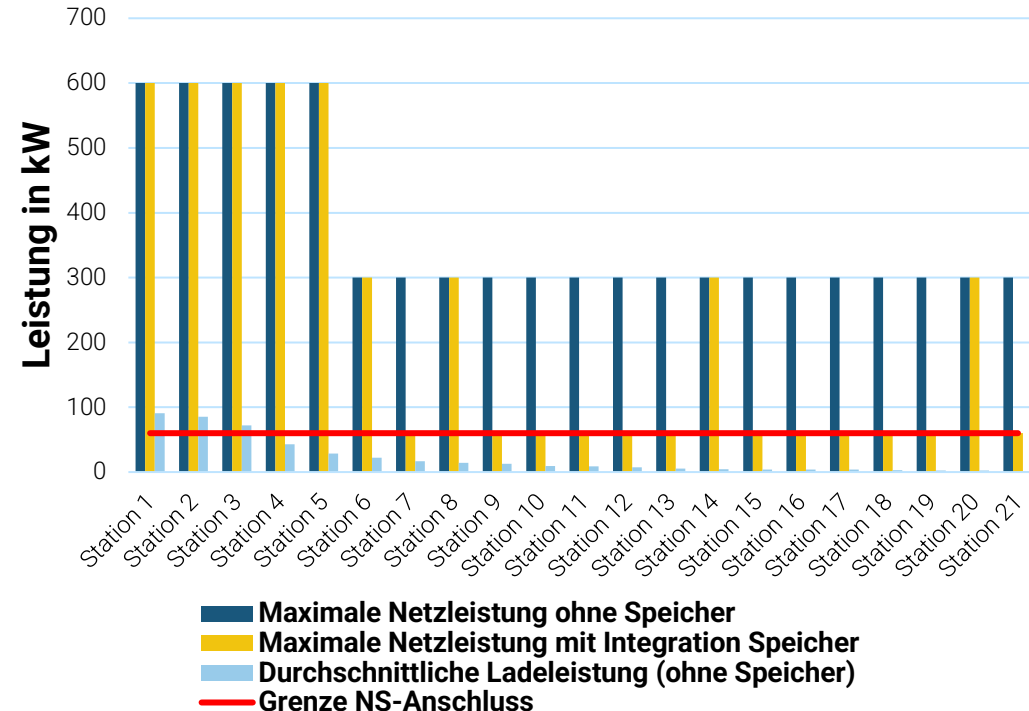
- An Endhaltestellen gibt es keine relevante Flexibilität zur Anwendung von Ladestrategien

Ladung an Endhaltestellen: Mit Speichern

Ziel: **Netzanschluss in Niederspannung**
anstelle von Mittelspannung

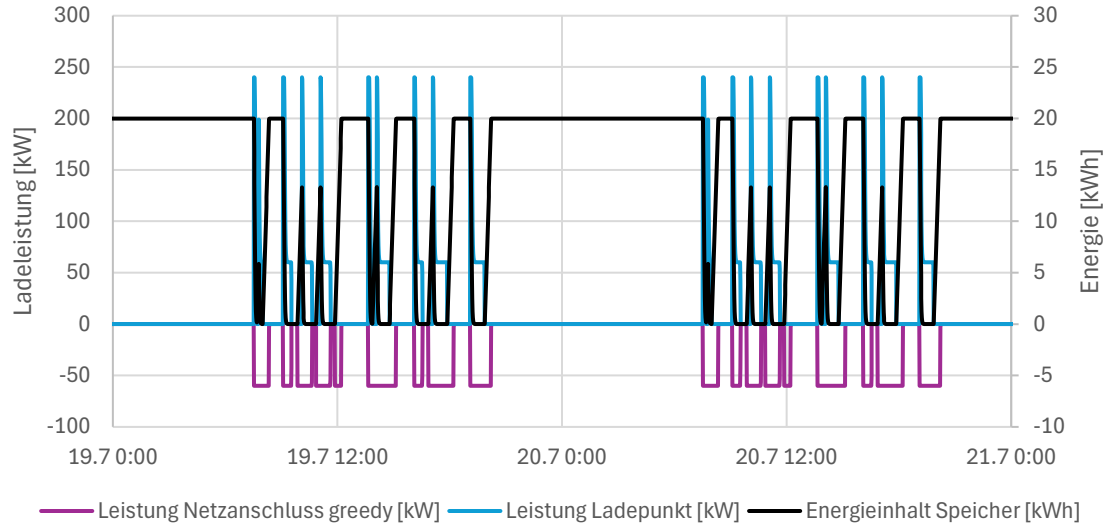
- Annahme: Anschluss in Niederspannung bis 60 kW möglich
 - Bedingung: Alle Umläufe sind weiterhin elektrisch bedienbar
 - Prüfung, an welchen Endhaltestellen der Einsatz von Schwungradspeicher möglich ist
- **Integration von Schwungradspeichern an 12 von 21 Endhaltestellen technisch möglich**
- Bei 100 kW Anschlussleistung in der Niederspannung ist die Integration an 16 von 21 Haltestellen möglich

Ladeleistungen an Endhaltestellen

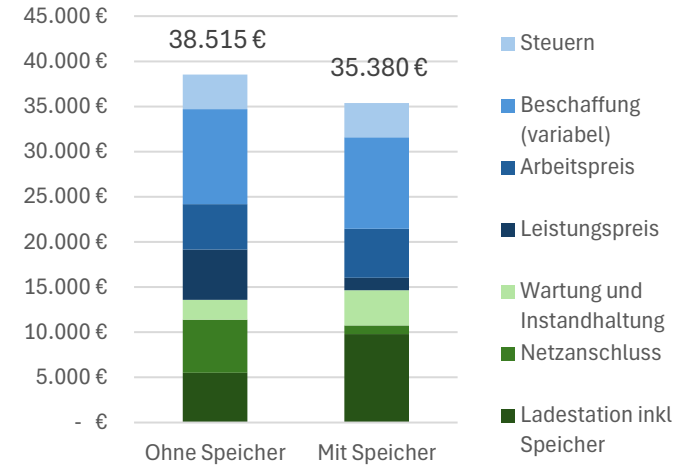


Ladung an Endhaltestellen: Mit Speichern

Lastverläufe



Gesamtkosten der Ladestation (jährlich)



- Einsatz von Speichern ermöglicht Netzanschluss in Niederspannung
- Jährliche Kosten der Ladestation reduzieren sich um ca. 8 %

- ▶ Durch angepasste Ladestrategien ist es möglich die Stromkosten im Depot um bis zu 40 % senken
- ▶ Da günstige Strompreise oft in Zeiten hoher Erzeugung Erneuerbarer bei niedrigem Verbrauch auftreten, wird dadurch auch die Integration Erneuerbarer Energien gefördert
- ▶ Durch die Vermeidung von Hochlastzeitfenstern wird der Netzausbaubedarf im Verteilnetz reduziert
- ▶ Bei der Errichtung von Haltestellen zur Zwischenladung sind Schwungradspeicher
 - **technisch machbar** → Beibehaltung des Elektrifizierungsgrad
 - **günstiger** → Einsparpotenzial von etwa 8 % der jährlichen Kosten
 - **einfacher und schneller** in der Umsetzung → Anschluss in der Niederspannung bedeutet weniger Aufwand als in der Mittelspannung
- ▶ Aktuell wurde bei der Zwischenladung keine Verschiebung über Ladevorgänge hinweg untersucht, welche bei höherer Systemintegration weitere Potentiale bieten

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



M.Sc.

Julian Brendel

Projektleiter

+49 30 1208 434 34

julian.brendel@rl-institut.de