

**traffiQ:
Einführung Elektromobilität
für die Linien 52 und 60 im
Linienbündel A**

Frankfurt, am 28.06.2019



Inhaltsübersicht



1. Einführung
2. Ladekonzept Linie 52 & 60
3. Betriebshofuntersuchung für das Bündel A

1. Einführung



▶ Grundlegendaten

- Umläufe der Linie 52 (Stand 24.04.2019)
- Umläufe der Linie 60 (Stand 19.12.2018)
- Kilometrierung der Linie 60 (Daten empfangen am 09.11.2018)
- Kilometrierung der Linie 52 (Daten empfangen am 09.11.2018)

1. Einführung

- ▶ **Insgesamt betrachtete Varianten Linie 60:**
 - Variante 1.1: Nachtladung + Zwischenladung in Heddernheim (HD) mit Schülerfahrten
 - Variante 1.2: Nachtladung + Zwischenladung (HD) ohne Schülerfahrten
 - Variante 2.1: Brennstoffzellenbusse mit Schülerfahrten
 - Variante 2.2: Brennstoffzellenbusse ohne Schülerfahrten
 - Variante 3.1: Nachtladung + Zwischenladung (HD + STZW) mit Schülerfahrten
 - Variante 3.2: Nachtladung + Zwischenladung (HD + STZW) ohne Schülerfahrten

- ▶ **Die Linie 52 wird mit Nachtladung von Batteriebussen betrachtet**

1. Einführung

- ▶ **Vorgesehene bzw. relevante Varianten Linie 60:**
 - Variante 3.2: Nachladung + Zwischenladung (HD + STZW) ohne Schülerfahrten
- ▶ **Die Linie 52 wird mit Nachladung von Batteriebussen betrachtet (evtl. eine Diesel-Schülerfahrt)**

1. Einführung

- ▶ **Anforderung an das Ladekonzept Linie 52 & 60:**
 - Finalisierung des vorliegenden Grobkonzepts
 - Berechnung der notwendigen Batteriekapazitäten
 - Ermittlung Anschluss- und Ladeleistung
 - Ermittlung Art, Anzahl, Ort und Platzbedarf Ladegeräte für die Zwischenladung

1. Einführung

- ▶ **Anforderung an die Betriebshofuntersuchung für das Bündel A:**
 - Detailuntersuchung und Bemessung für Abstellung und Ladung von Elektrobussen der Linien 52 & 60
 - Infrastrukturbedarf für Nachladung (Anschlussleistung, Platzbedarf, Tiefbau) + Kostenschätzung
 - Ermittlung der notwendigen Änderungen in den Werkstätten

2. Batteriekapazität

► Annahmen

- Dieselzusatzheizung, zentral ansteuerbar (zur Vorkonditionierung)

Energieverbrauch Traktion + fix. NV (kWh/km)		
Min	Mittelwert	Max
1	1,1	1,3

Wirkungsgrad	
Batterie	Ladestation
0,95	0,94

Quellen (Auswahl):

- „Statusbericht-2015/16-Hybrid- und Elektrobustprojekte in Deutschland“, NOW
- „Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobuste“, 2017, Fraunhofer IVI

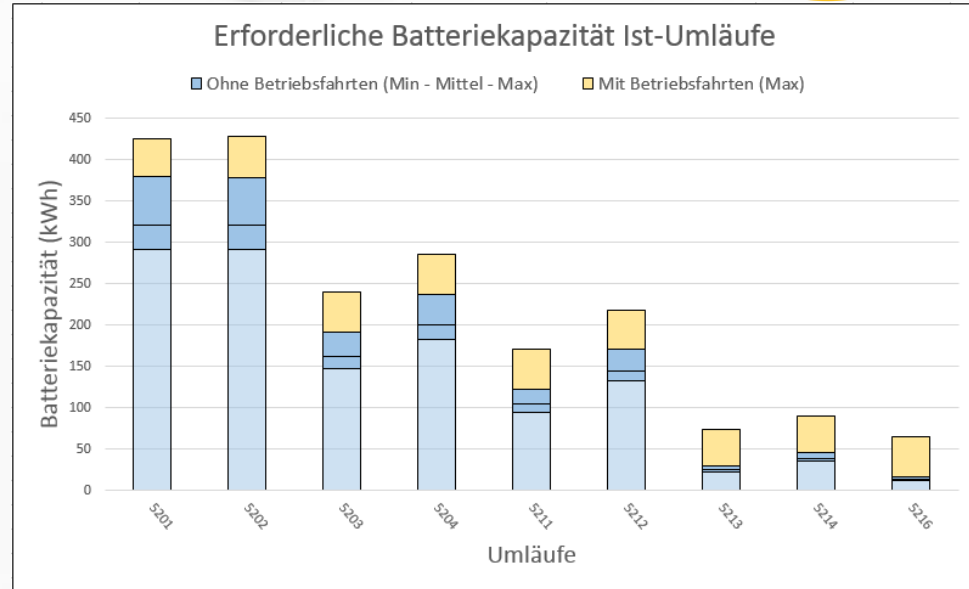
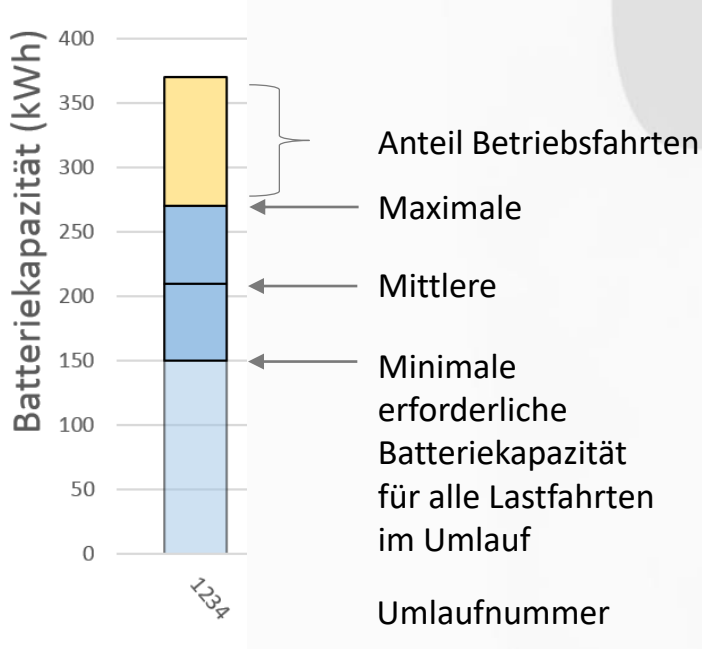
2. Batteriekapazität

► Annahmen

- Pufferzeit bevor die Zwischenladung beginnt: $\frac{1}{6}$ der vorherigen Fahrzeit (Minimum 3 Minuten)
- Distanz zwischen der Haltestelle Heddernheim und dem Ladepunkt: maximal 270 Meter
- Distanz zwischen der Haltestelle STZW und dem Ladepunkt: abgeschätzt 220 Meter
- Beispielbetriebshof: Heutiger Betriebshof Bündel A „Am Frischezentrum“

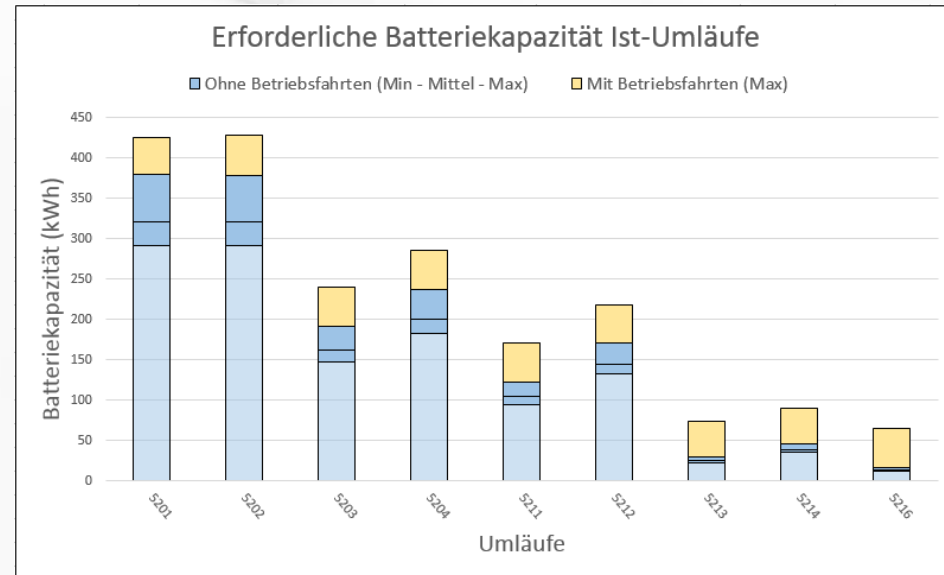
2. Batteriekapazität

► Basis: Umlaufplan Linie 52 (FPL 2021)



2. Batteriekapazität

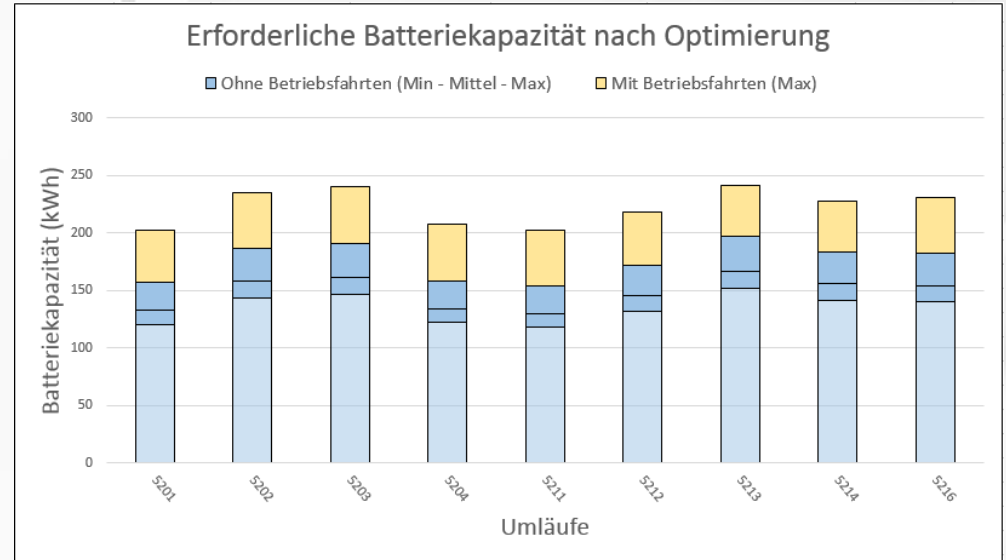
- ▶ **Basis: Umlaufplan Linie 52 (FPL 2021)**
 - Benötigter Energiebedarf der einzelnen Umläufe sehr unterschiedlich
 - Maximale erforderliche nutzbare Batteriekapazität: 427,3 kWh
 - Durchschnittlich 221,7 kWh pro Umlauf
 - Ansatz: bessere Verteilung der Energiemenge je Umlauf



 **Anpassung der Umläufe notwendig**

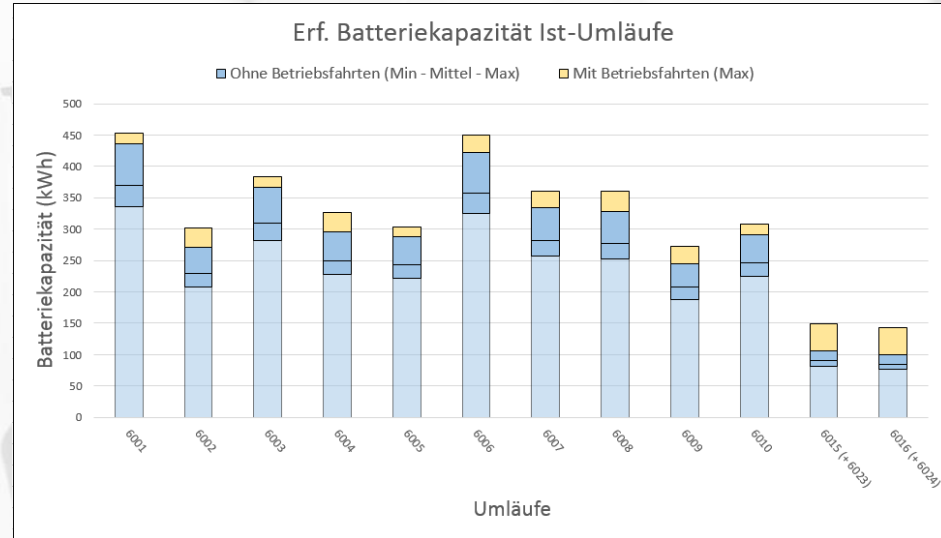
2. Batteriekapazität

- ▶ Optimierung Linie 52:
 - Maximale erforderliche nutzbare Batteriekapazität: **241,1 kWh**
 - Durchschnittlich 222,7 kWh pro Umlauf



2. Batteriekapazität

- ▶ **Basis: Umlaufplan Linie 60 (FPL 2020)**
 - Benötigter Energiebedarf der einzelnen Umläufe sehr unterschiedlich
 - Maximale erforderliche nutzbare Batteriekapazität: 451,8 kWh
 - Durchschnittlich 249,5 kWh pro Umlauf
 - Ansatz: Umlaufanpassung notwendig
 - Zwischenladung an 2 Punkten möglich



 **Anpassung der Umläufe notwendig**

2. Batteriekapazität

- ▶ Linie 60: Zwischenladung in Heddernheim und Stadtbahnzentralwerkstatt
 - Einfügen von Ladeprozessen im Umlaufplan Linie 60 (FPL 2020)

Lastfahrt
 Umsetzfahrt
 Ladung

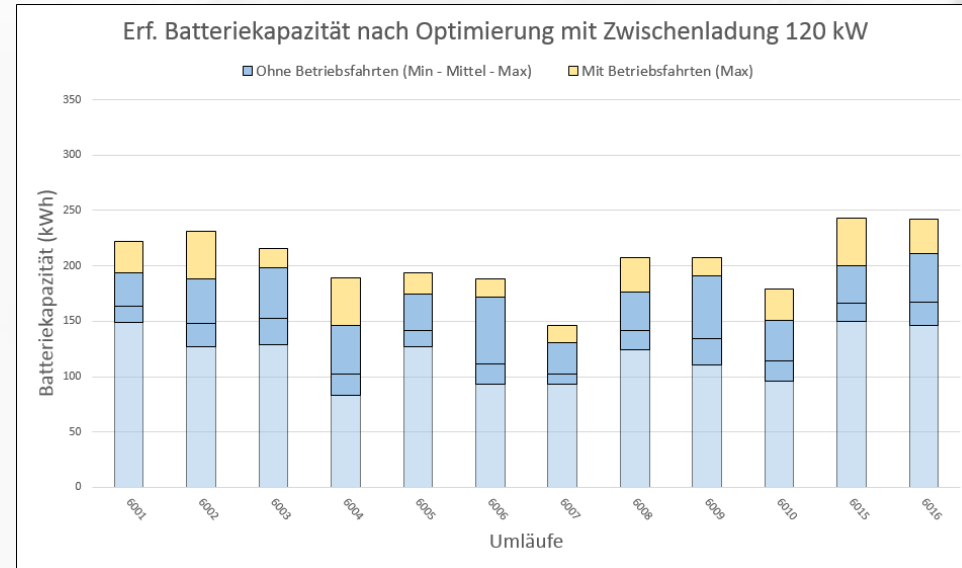
	14	30	15	30	16	30	17	30	18	30	19	30	20	30	21
	ROBF	ROBF	HD	HD Betr HD Betr HD	ROBF	ROBF	HD	HD Betr HD Betr HD	ROBF	ROBF	HD	HD Betr HD Betr HD	ROBF	ROBF	HD
		60 H Normalbus Lastfahrt	Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt		
		[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]		
	ROBF	ROBF	HD	HD Betr HD Betr HD	ROBF	ROBF	HD	HD Betr HD Betr HD	ROBF	ROBF	HD	HD Betr HD Betr HD	ROBF	ROBF	HD
	Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt	60 R Normalbus Lastfahrt	60 H Normalbus Lastfahrt
	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]	[1234]

2. Batteriekapazität



▶ Linie 60: Optimierung mit Zwischenladung in Heddernheim und STZW

- 12 Umläufe
- Ladeleistung: 120 kW
- Maximale erforderliche nutzbare Batteriekapazität: **243,2 kWh**
- Durchschnittlich 205,5 kWh pro Umlauf
- Die Energiemenge wurde besser auf die Umläufe verteilt
- Mehrere Ladeprozesse wurden in Heddernheim und STZW eingeplant



2. Batteriekapazität

► Zusammenfassung der Batteriekapazitäten

	Nachtladung		Nachtladung + Zwischenladung (HD+STZW)	
	evtl. eine Diesel-Schülerfahrt		Ohne Schülerfahrten	Diesel-Schülerfahrten
Linie	52		60	
Ladeleistung (kW)	-	-	120	-
Nutzbare Batteriekapazität (kWh)	241	-	243	-
Mit 10% Reserve	265	-	268	-
Fahrzeuganzahl	9	1	12	4

2. Anschluss- und Ladeleistung

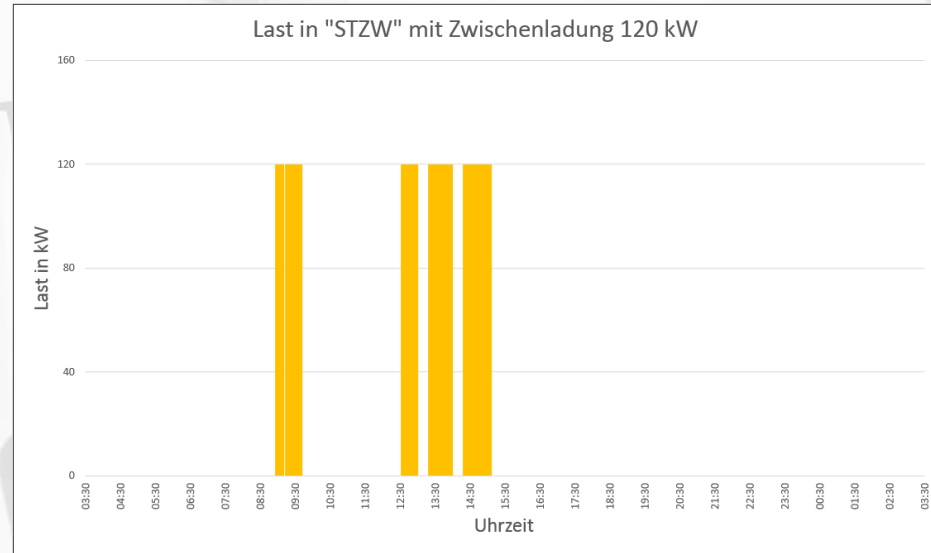
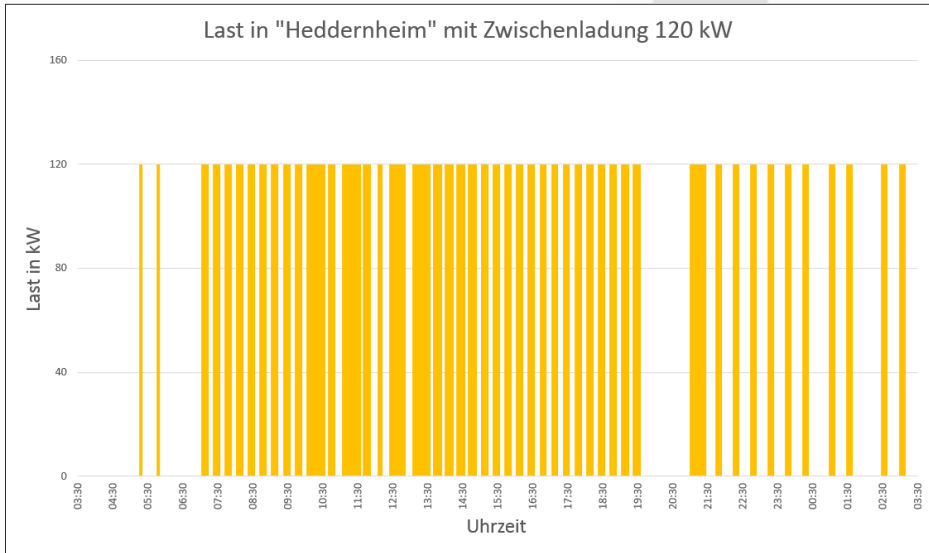
► Annahmen

- Pufferzeit: 1 St. nach Umlaufende und 20 Min vor Umlaufbeginn (Auf- und Abrüstzeit, Innenreinigung, Waschen)
- 3 Leistungsstufen anwendbar für die Nachladung: 50 kW, 100 kW, 150 kW
- Disposition: Fahrzeug fährt bis auf Ausnahmen immer auf dem gleichen Umlauf
- Die Ergebnisse sind auf dem maximalen Energieverbrauch bezogen (1,3 kWh/km)

2. Anschluss- und Ladeleistung



▶ Linie 60: Zwischenladung in Heddernheim und STZW

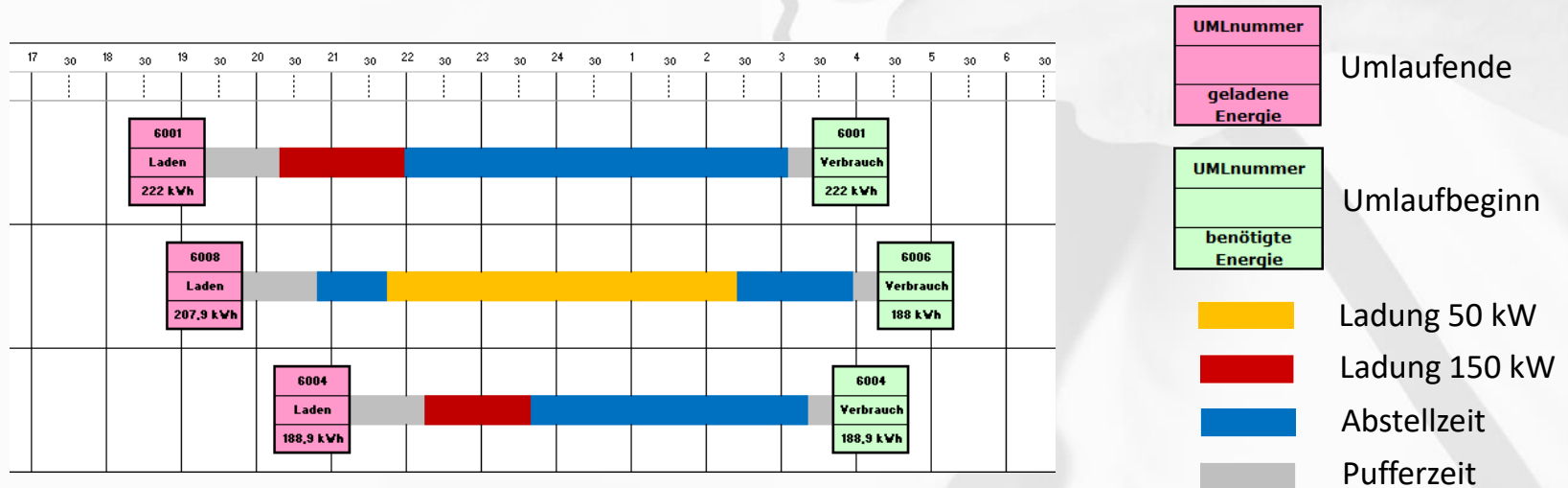


Maximal 120 kW benötigt und umsetzbar.

2. Anschluss- und Ladeleistung

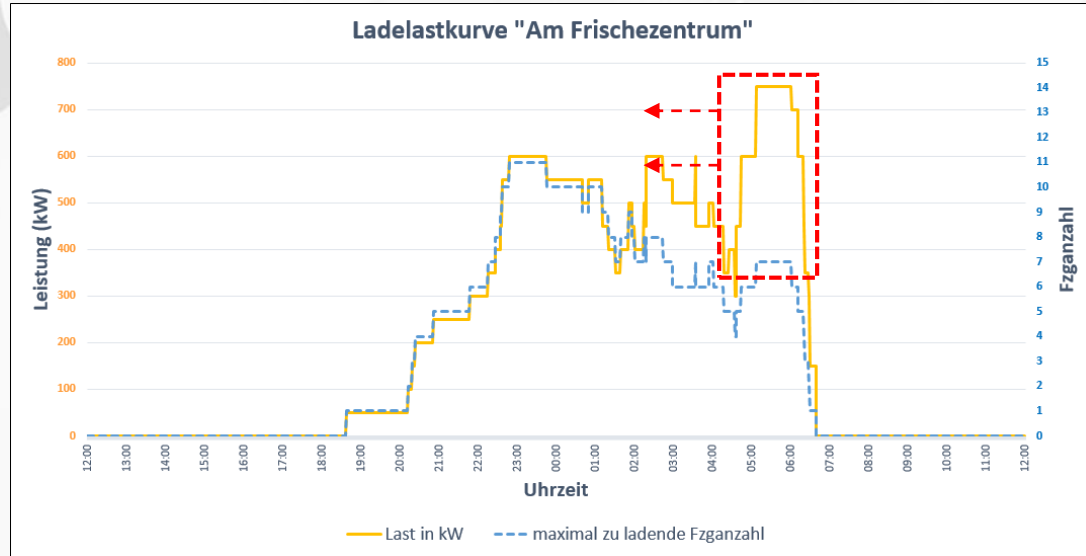
► Linien 52 & 60: Nachladung

- Ladezeitpotenzial im Betriebshof
- Die Ladeprozessen werden zwischen Umlaufende und Umlaufbeginn durchgeführt.



2. Anschluss- und Ladeleistung

- ▶ Linien 52 & 60: Nachladung
 - Schritt 1: erste Verteilung der Ladeprozesse mit hauptsächlich Langsamladung (50 kW)
 - 750 kW werden benötigt zwischen 05:00 und 06:00 Uhr
 - Die Leistung muss besser verteilt werden

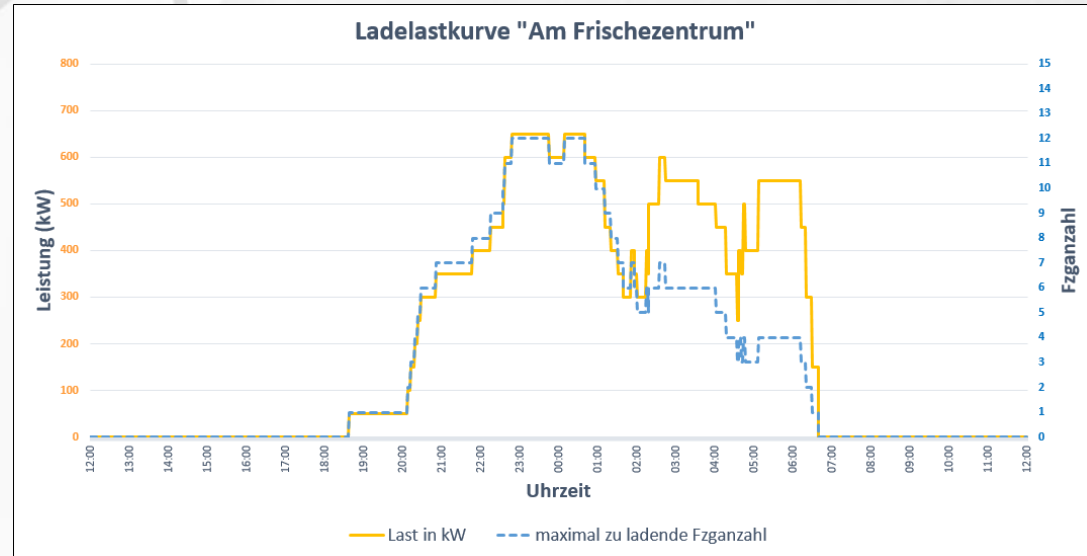


2. Anschluss- und Ladeleistung



► Linien 52 & 60: Nachladung

- Schritt 2: bessere Verteilung der Ladeprozesse mit hauptsächlich Langsamladung (50 kW)
- Die Spitze zwischen 05:00 und 06:00 wurde reduziert.
- Neue Spitze: 650 kW
- Mit stärkeren Leistungen der einzelnen Ladegeräte könnte die Spitze weiter reduziert werden.



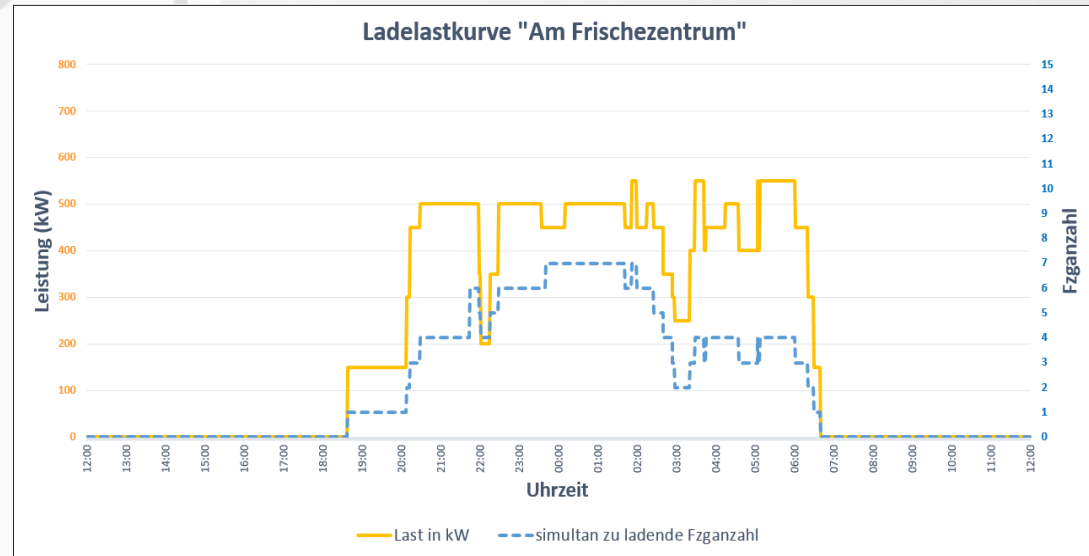
2. Anschluss- und Ladeleistung



▶ Linien 52 & 60: Nachtladung

- Schritt 3: Verteilung der Ladeprozesse mit Anwendung aller Leistungshöhen (50, 100 und 150 kW)
- Neue Spitze: 550 kW
- Ergebnis für 21 Fahrzeuge

▶ Lademanagement notwendig

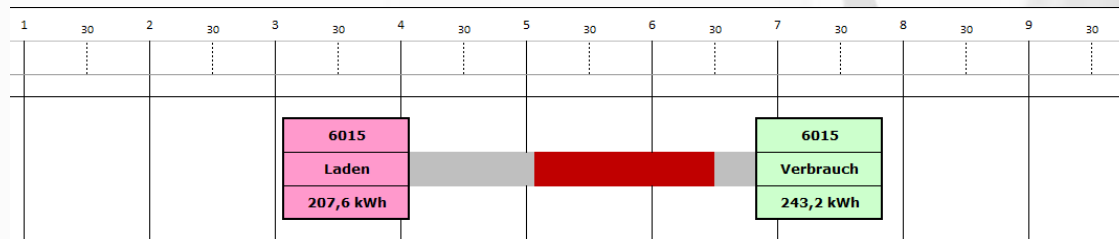


2. Anschluss- und Ladeleistung

► Linien 52 & 60: Nachladung

- Kritische Umläufe: Matching der Umlaufpaare

- Bus 21 : Umlauf 6015 – Umlauf 6015: reduzierte Ladezeit vorgesehen (93 Min statt 109) aufgrund der geringen Zeit zur Verfügung. Da das Fahrzeug am Tag eine längere Abstellzeit in STZW zur Verfügung hat (siehe Umlaufplan anbei), kann dort eine Vollladung des Fahrzeugs erfolgen.



Umlaufende



Umlaufbeginn



Ladung 150 kW



Pufferzeit

2. Anschluss- und Ladeleistung

► Zusammenfassung der Anschluss- und Ladeleistungen

	Nachtladung + Zwischenladung (HD+STZW)	
	Ohne Schülerfahrten	
Ladungsart	Zwischenladung <i>HD und STZW</i>	Nachtladung <i>Frisch.</i>
Ladeleistung (kW)	120	50 bis 150
Lastspitze (kW)	120	550
*Mit 30% Reserve (Nacht)	-	715
Mit Redundanz Zwischenlader	240	-

2. Infrastruktur: Zwischenladung

► Annahmen

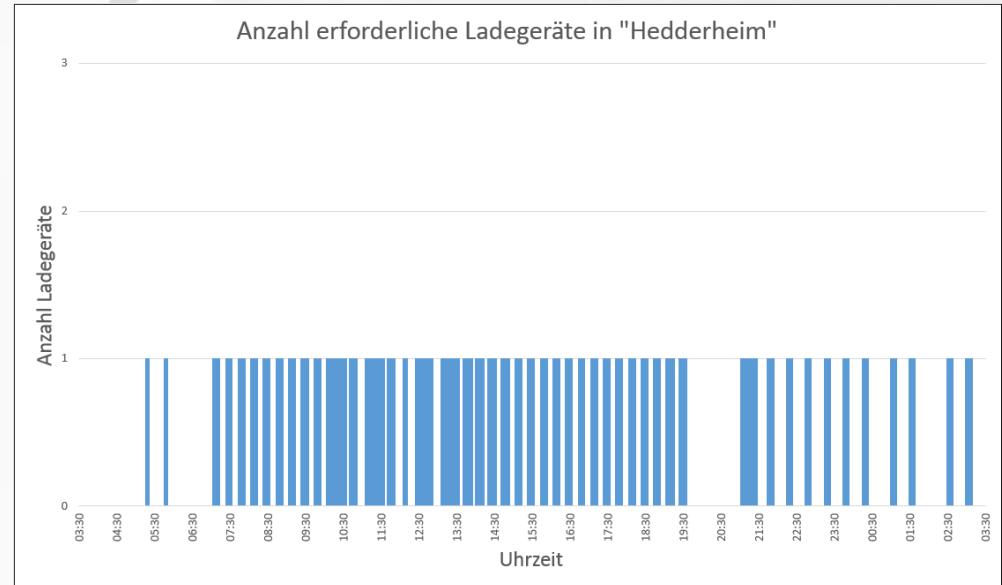
- Flächenbedarf pro Ladegerät: ca. 1 – 3qm (Heliox, Siemens)
- Investitionskosten pro Ladegerät: 500€/kW
 - Zum Beispiel: 40.000€ für 80 kW (Richtpreis Ladegerät der Linie 75; Endbericht Grobkonzept)

2. Infrastruktur: Zwischenladung

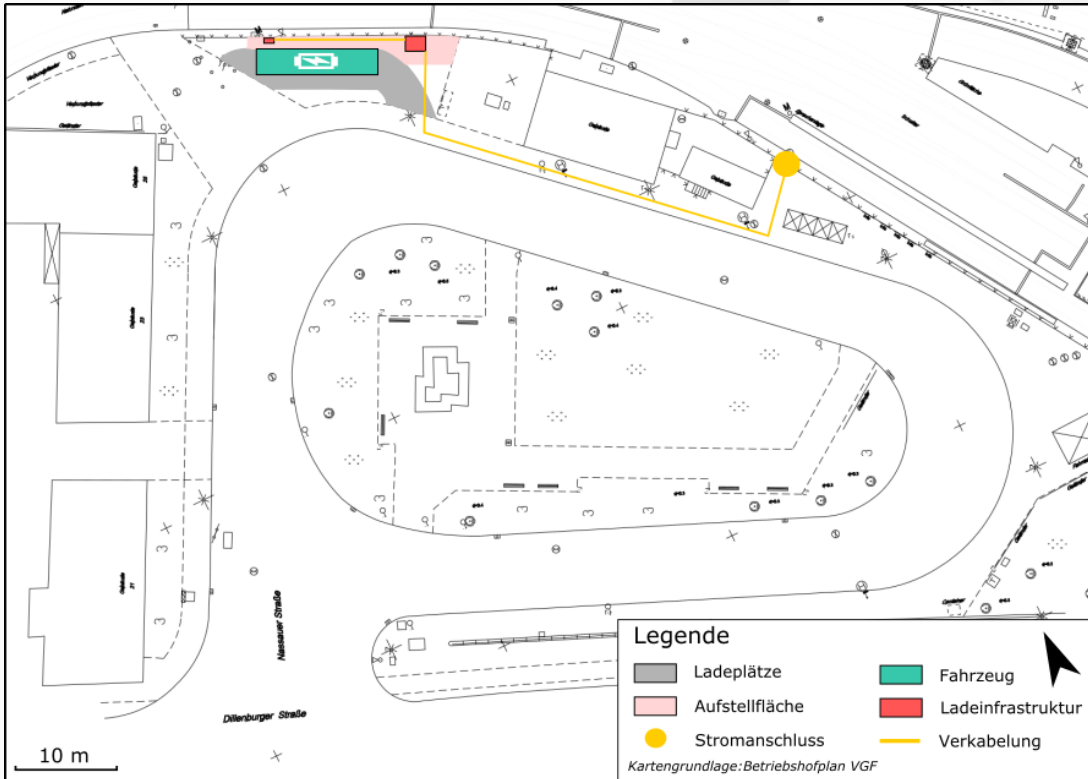


▶ Linie 60: Zwischenladung in Hedderheim

- Anzahl Ladegeräte: 1
(+1 Reserve)
- Art: Depotlader Typ Stecker
- Ladeleistung: 120 kW
- Investitionskosten mit Reserve
 - Ladegeräte: 40.000 – 120.000 €
 - + Verkabelung + Montage + Tiefbau/Straßenbau



2. Infrastruktur: Zwischenladung

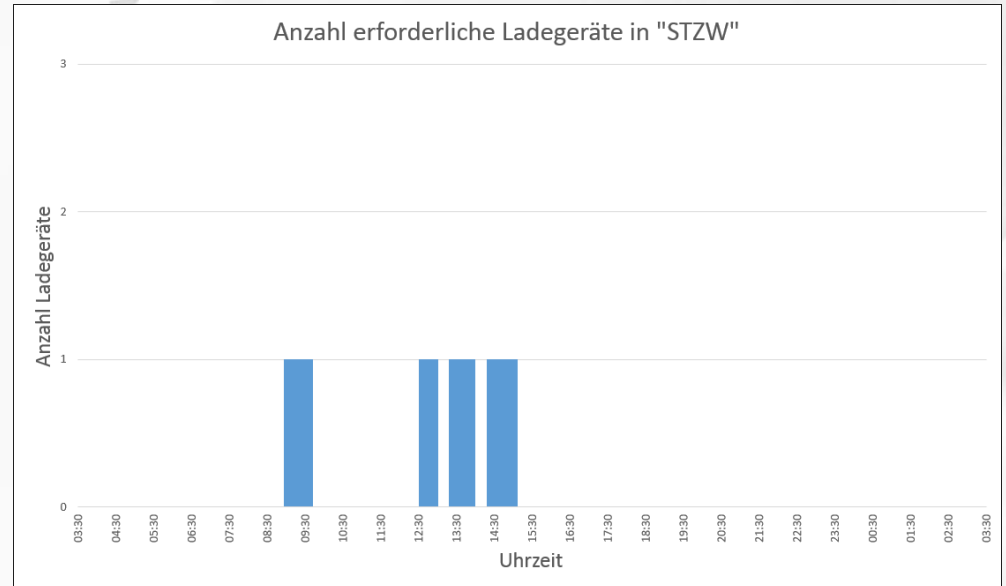


- ▶ Linie 60: Zwischenladung in Heddernheim
 - Platzbedarf: ca. 1 - 3qm (+ 3qm mit Reserve)
 - Ort: Am Vorplatz (siehe Skizze)

2. Infrastruktur: Zwischenladung

▶ Linie 60: Zwischenladung in STZW

- Anzahl Ladegeräte: 1
(+1 Reserve)
- Art: Depotlader Typ Stecker
- Ladeleistung: 120 kW
- Investitionskosten mit Reserve
 - Ladegeräte: 40.000 – 120.000 €
 - + Verkabelung + Montage + Tiefbau/Straßenbau



2. Infrastruktur: Zwischenladung

► Zusammenfassung der Ladeinfrastruktur in Heddernheim und STZW

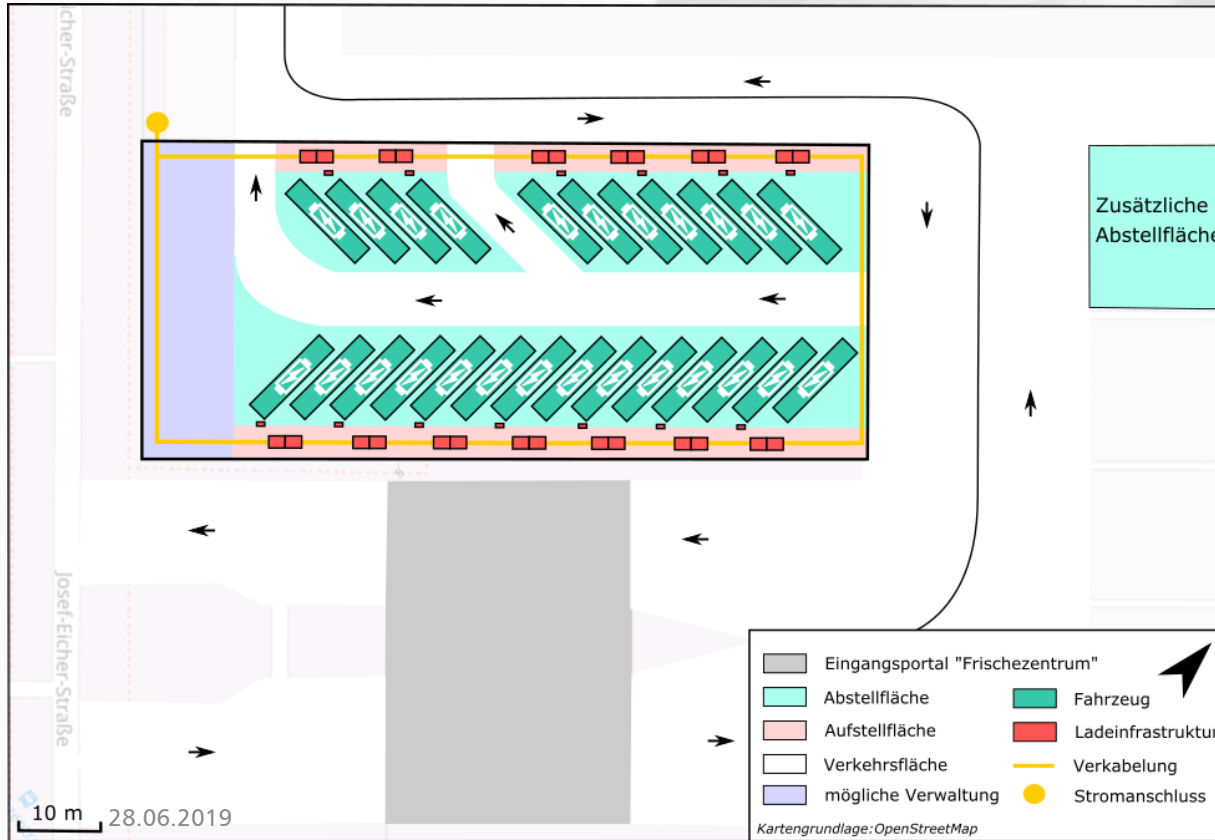
	Zwischenladung (HD + STZW)
	Ohne Schülerfahrten
Ladeleistung (kW)	120
Anzahl Ladegeräte	2 (+2)
Art Ladepunkt	Stecker
Investitionskosten (€)	120.000
+ 1 Ladegerät (Reserve)	240.000
Flächenbedarf netto (qm)	6
+ 1 Ladegerät (Reserve)	12

3. Aufstellkonzept

► Annahmen

- Da der zukünftige Betriebshof noch nicht feststeht, wurde die Betriebshofuntersuchung beispielhaft am „Am Frischezentrum“ durchgeführt.
- Nach Aussage des Betreibers ist am gewählten Standort „Am Frischezentrum“ ausreichende Anschlussleistung derzeit verfügbar. Die Restkapazitäten des Großhandelskomplexes sind nicht erschöpft. Notwendige Verlegung von Anschlusskabel im Objekt sind nicht definiert.

3. Aufstellkonzept



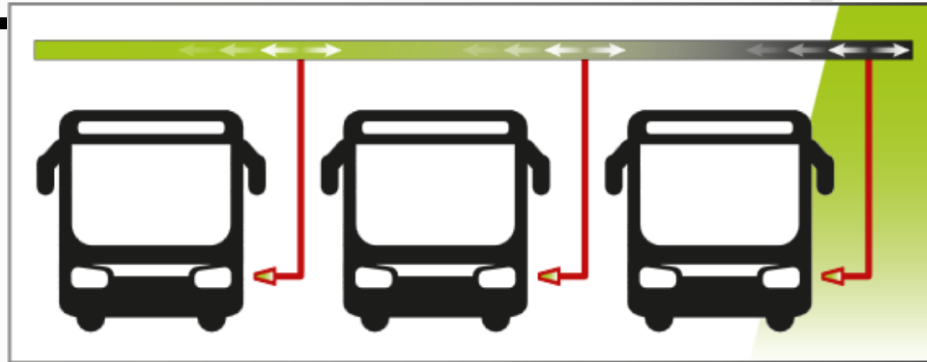
- Schrägaufstellung
- ausschließlich Batteriebusse
- ca. 30% erhöhter Flächenbedarf (davon 15% Ladeinfrastruktur)

3. Aufstellkonzept

- ▶ flexible Einsatzmöglichkeit im Betrieb (unabhängiges Ausrücken)
- ▶ Rückwärtsfahren deutlich geringer notwendig
- ▶ zwei Ausfahrtmöglichkeiten (betrieblicher Vorteil)
- ▶ Ladeinfrastruktur am Betriebshofrand (Vermeidung von „Stolperfallen“)
- ▶ zwei Kabel pro Ladesäule

3. Aufstellkonzept

- ▶ weitere Aufstellkonzepte denkbar, evtl. deutlich mehr Baumaßnahmen notwendig
 - Blockaufstellung
 - Anwendung einer Traverse (Ladepunkte oberhalb der Fahrzeuge)



Quelle: Faiveley Stemman.



Quelle: Faiveley Stemman,

3. Aufstellkonzept



▶ Rückwärtsfahren

- Aktuell unerlässlich im Betriebshof „Frischezentrum“
- bei geplanten Aufstellkonzept kaum notwendig
- benötigt laut StVO „Einweiser“ und dadurch zusätzliche Personalkosten

3. Aufstellkonzept



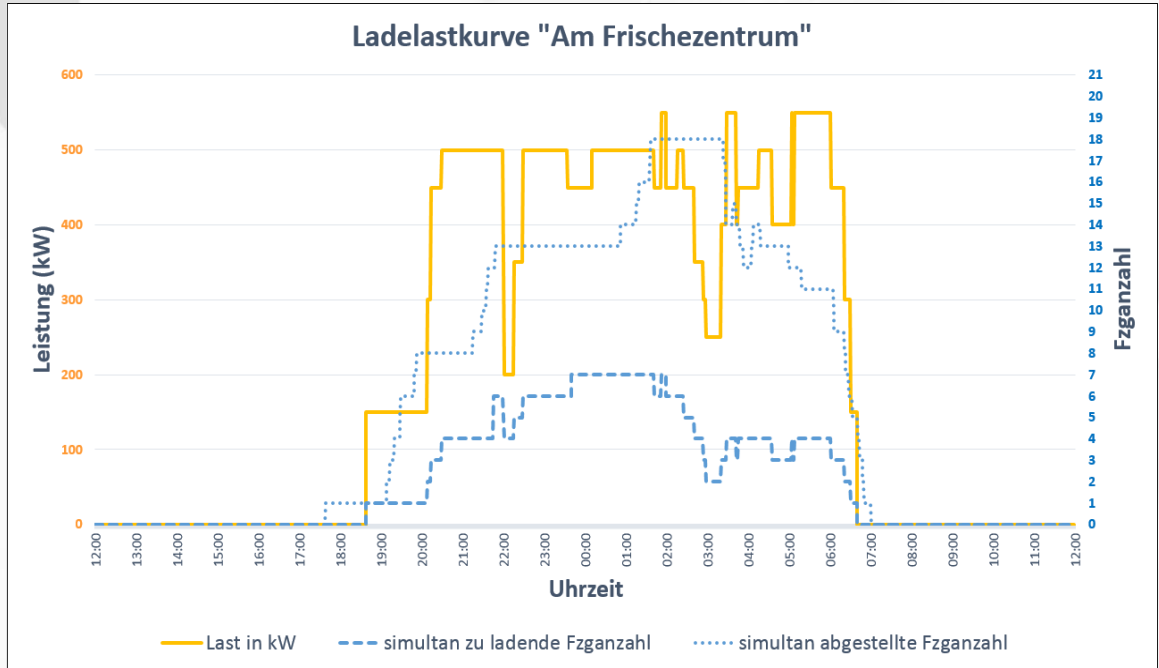
▶ Betriebshof- und Lademanagementsystem

- Zur Sicherstellung des betrieblichen Prozesses am Folgetag ist eine Stellplatzzuordnung notwendig. Ein betriebliches Umsetzen während der Ladephase ist zu vermeiden.
- Die richtige Zuordnung der Fahrzeuge an Abstellplätze und Ladepunkte wird durch ein Betriebshofmanagementsystem (BHMS) sichergestellt.
- Die Einhaltung des Ladeplans und die Vermeidung von Lastspitzen sollte durch ein Lademanagementsystem erfolgen.
- Kombination von Betriebshofmanagement- und Lademanagement wird empfohlen.

3. Ladeinfrastrukturbedarf

▶ Linie 52 & 60: Nachtladung

- Netzanschluss: 550 kW
mit Reserve: 715 kW
- Ladekabel: 18
mit Reserve: 22
- Ladegeräte/-säulen: 9/9
mit Reserve: 11/11



3. Ladeinfrastrukturbedarf

► Infrastrukturbedarf

- Ringleitung: Gilt als Maßnahme zur Sicherung der Ladeinfrastruktur im Fall eines Ausfalls, durch Netzumschaltung kann der Betrieb sichergestellt werden.
- Länge des erforderlichen Kabels: ca. 250 m (+ 30% Reserve: 320 m)
- Länge des Kabelschachts: ca. 250 m
- Baumaßnahmen:
 - Umzäunung inkl. Eingangstor zur Absicherung des Geländes notwendig
 - Verlegung von Netz- und Netzwirkkabel als Ringleitung
 - Beton- und Schachtarbeiten für Ladeinfrastruktur
 - Erstellung Verkehrswege

3. Ladeinfrastrukturbedarf



- ▶ Geschätzte Kostenaufstellung „Am Frischezentrum“ (hohe Kostenspannweite)

	Kostenbasis	Linie 52 & 60
Ladungsart		Nachladung Frischezentrum
Ladegeräte inkl. Ladesäule	40 T€ je Ladekabel	880 T€ (inkl. Reserve)
Anschluss- und Installationskosten	15 T€ je Ladekabel	330 T€ (inkl. Reserve)
Sonstige Kosten		Netzanschlusskosten BH; Pflasterarbeiten; Planung- und Bauüberwachung

Quelle: u.a. Fraunhofer IVI, Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse.

3. Werkstattanpassung

► Dacharbeitsplätze

- Hocharbeitsplätze inklusive Absturzsicherung
 - Stationär: zu priorisieren
 - Mobil: für Übergangszeiträume
- Hebevorrichtungen bspw. Lastenkrane
- Hallenhöhe: mindestens 4,5 m, 8m komfortabler



Quelle: Fahrzeugwerkstätten Falkenried



Quelle: Leitfaden VBG

3. Werkstattanpassung

▶ Arbeitsmittel

- Messgeräte (z.B. Spannungsprüfer)
- Isolierte Werkzeuge (Spannungen bis 1.000 V)
- Persönliche Schutzausrüstungen (z.B. Schutzhandschuhe, Augen- und Gesichtsschutz)



Quelle: Leitfaden VBG



Quelle: egamaster.com

3. Werkstattanpassung

▶ Batterielagerung

- An einem kühlen, trockenen und gut gelüfteten Ort
- Getrennt von brennbaren Materialien
- Beschädigte Batterien sind in Gefahrbehältern zu lagern und zu transportieren.



Quelle: REMONDIS GmbH

Ihr Ansprechpartner



Christian Schneider

Tel +49 (0) 40 – 38 677 9 – 72

Mail christian.schneider@bpv-consult.de