



SWU Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm GmbH, <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7205821549965127680/>; https://www.linkedin.com/posts/swu_keine-kompromisse-bei-komfort-und-sicherheit-activity-7213523497589846016-X9cZ?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

Erstellung einer Machbarkeitsstudie

„Bus-Liniennetz Ulm/Neu-Ulm mit alternativen Antrieben“

Ergebnispräsentation

Marius Schneider & Mauricio Barriga
Ulm/Neu-Ulm | 27. August 2024

-
- 1. Aufgabenstellung**
 - 2. Markt- und Technologiebeschreibung**
 - 3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung**
 - 4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**
 - 5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)**
 - 6. Werkstattausrüstung**
 - 7. Fazit und Handlungsempfehlung**
-

Anhang Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – Szenario ohne Zusatzbusse

Anhang Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

1. Aufgabenstellung

Erstellung einer Machbarkeitsstudie „Bus-Liniennetz Ulm/Neu-Ulm mit alternativen Antrieben“

Rahmenbedingungen:

- › Ab 01.01.2027 Bedienung des gesamten Liniennetz Ulm und Neu-Ulm
 - 19 Linien im Tag- und 9 Linien im Nachnetz
- › Mit Übernahme soll Neu-Ulmer Verkehrsangebot teilweise emissionsfrei bedient werden
- › Errichtung eines neuen Betriebshofs in Neu-Ulm
 - Zunächst Kapazität für ca. 30, perspektivisch für 50 Busse
- › Förderzusage für 14 Gelegenheitslader (bis Ende 2025 im Linienbetrieb)

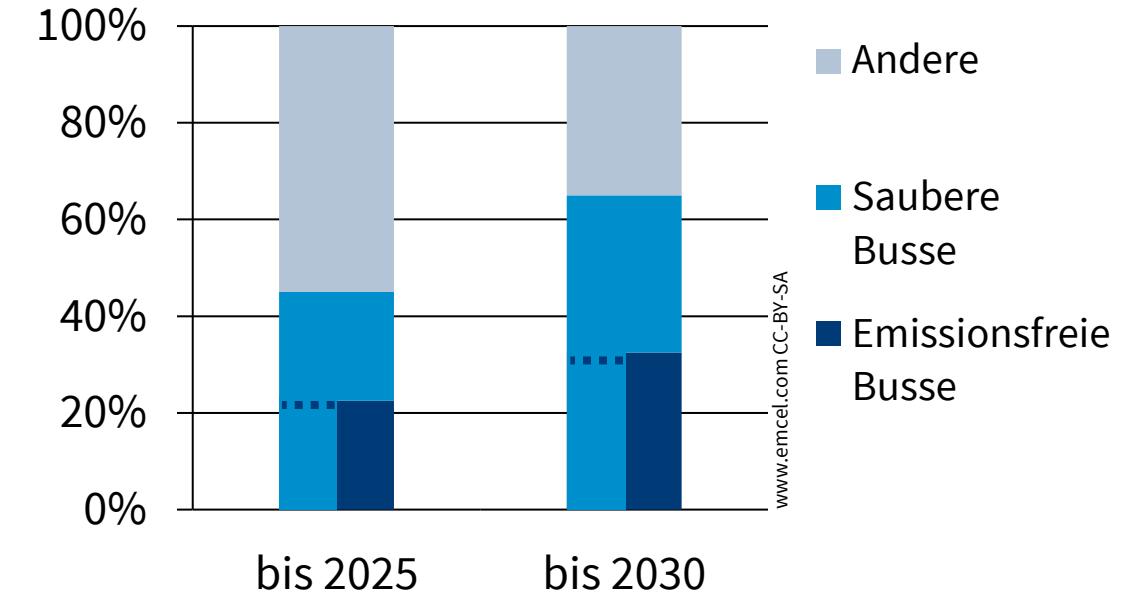
2. Markt- und Technologiebeschreibung

2. Markt- und Technologiebeschreibung

Clean Vehicles Directive – CVD

Clean Vehicles Directive – Quoten

- › 2021–2025, 45 % der Neuanschaffungen als saubere Busse
- › 2026–2030, 65 % der Neuanschaffungen als saubere Busse
- › Davon jeweils 50 % Null-Emissions-Busse (lokal emissionsfreie Fahrzeuge)
- › Quoten zählen für Zeitraum (nicht pro Ausschreibung)



2. Markt- und Technologiebeschreibung

CO₂-Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge

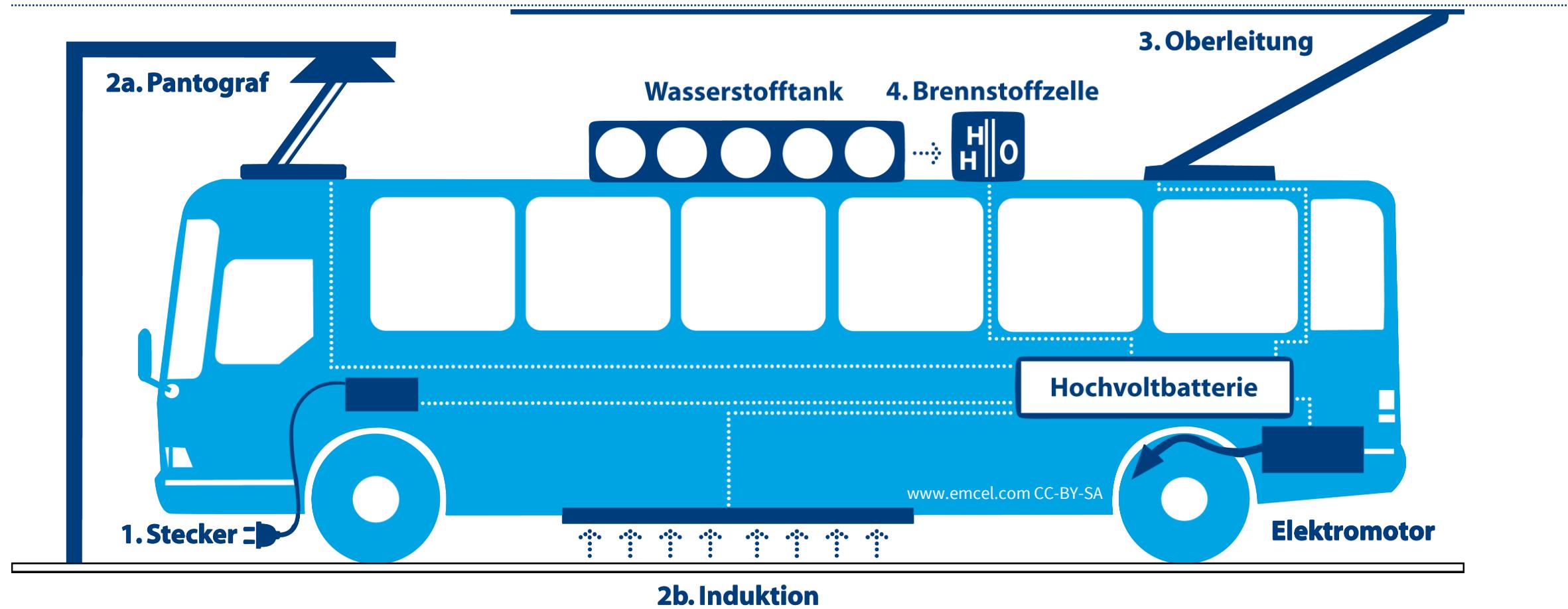
Update: CO₂-Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge (Stand Juli 2024)

- › EU-Rat und Europäisches Parlament bestimmen stärkere CO₂-Emissionsziele für schwere Nutzfahrzeuge
- › Einigung richtet sich an die CO₂-Flottenemissionen der Fahrzeughersteller → Flottenemissionen reduzieren
- › Stadtbusse **M3 Klasse I** – 100 % CO₂-Reduzierung **bis 2035** (Zwischenziel von 90 % bis 2030)
- › LKW über 7,5 t, Überlandbusse **M3 Klasse II**, Reisebusse **M3 Klasse III**, ab 2035 auch Berufsfahrzeuge:
 - Ab 2030: 45 % CO₂-Reduzierung
 - Ab 2040: 65 % CO₂-Reduzierung
 - Ab 2045: 90 % CO₂-Reduzierung

Mit der neuen EU-Emissionsnorm wird die Elektrifizierung des Marktes weiter vorangetrieben.
Das beeinflusst zzgl. zur CVD die zukünftigen ÖPNV-Ausschreibungen!

2. Markt- und Technologiebeschreibung

Alternative Antriebstechnologien – E-Busse



In Abhängigkeit der lokalen Randbedingungen sind alle Technologien sinnvoll!

2. Markt- und Technologiebeschreibung

Alternative Antriebstechnologien – Gelegenheitslader (Teillader)

Vorteile

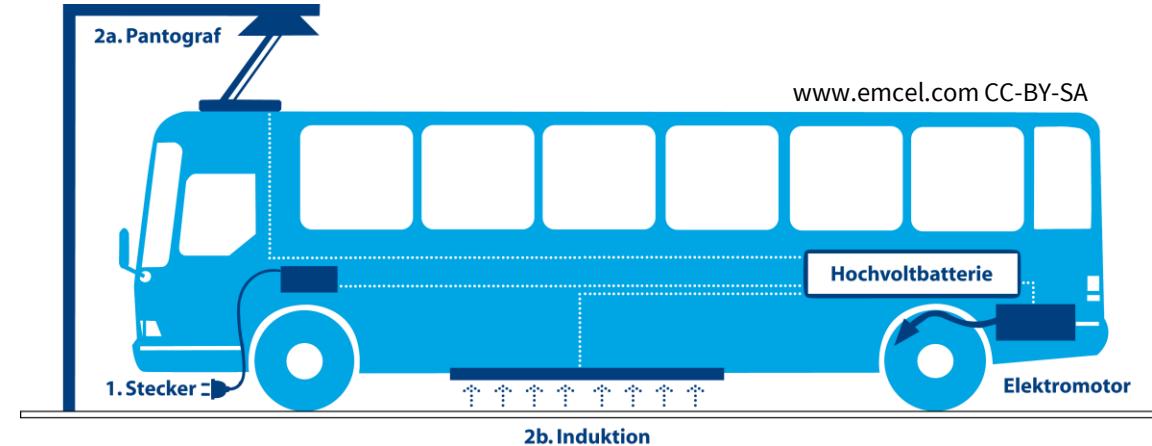
- + „Unendliche“ Reichweite
- + Kleinere Batterien als bei Volllader

Nachteile

- Benötigt Wendezzeit ca. 10 Min. (abh. von der Linie)
- Flexibilität / Linienwechsel eingeschränkt

Konsequenz / mögliche Lösung

- › Festlegung auf eine Linie
- › Anpassung von Fahrplan und Wendezzeit



2. Markt- und Technologiebeschreibung

Alternative Antriebstechnologien – Depotlader (Nachtlader, Volllader)

Vorteile

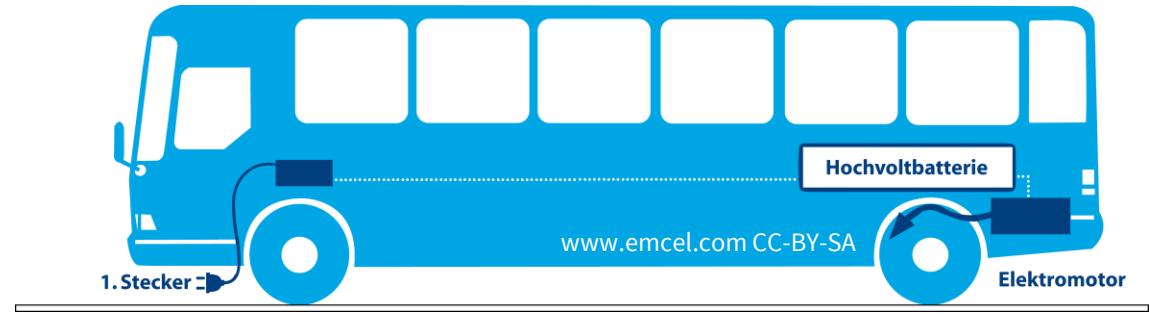
- + Niedrige Einstiegshürde
- + Flexibel einsetzbar

Nachteile

- Reichweite ca. 250 km (über alle Einsatzbedingungen)
- Reichweite mit nicht elektrischer Zusatzheizung ca. 330 km
- Reichweite stark abhängig von Umgebungsbedingungen

Konsequenz / mögliche Lösung

- › Linien teilen / kürzen
- › Mehr Fahrzeuge (mehr Fahrer)
- › Ggf. Zwischenladungen über Mittag



2. Markt- und Technologiebeschreibung

Alternative Antriebstechnologien – Brennstoffzelle

Vorteile

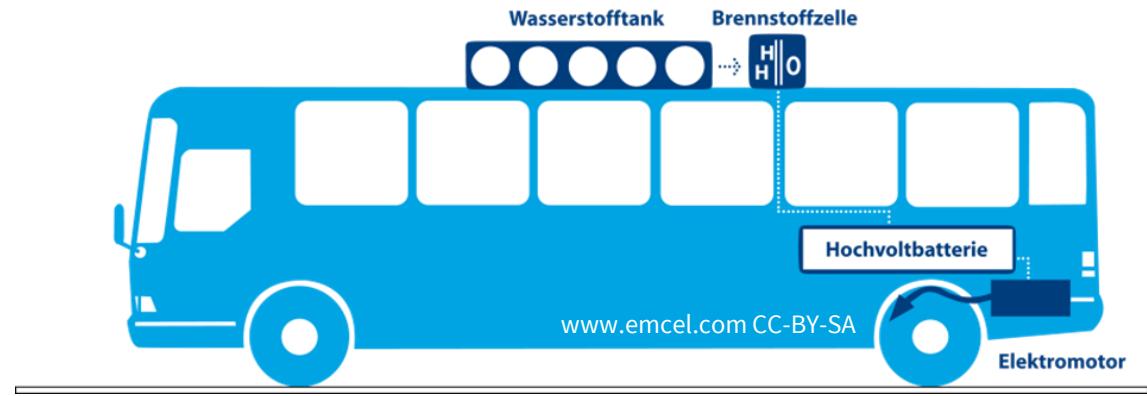
- + Reichweite bis ca. 400 km
- + Streckenplanung wie bei Dieselbussen
- + Flexibel einsetzbar

Nachteile

- Anschaffungskosten (Stand heute)
- Aufbau eigener Wasserstoffinfrastruktur (Einstiegskosten)

Konsequenz / mögliche Lösung

- › Gemeinsame Nutzung von Wasserstofftankstellen, auch öffentlich
- › Wasserstofftankstelle als Betreibermodell



2. Markt- und Technologiebeschreibung

Alternative Antriebstechnologien – Range Extender

Vorteile

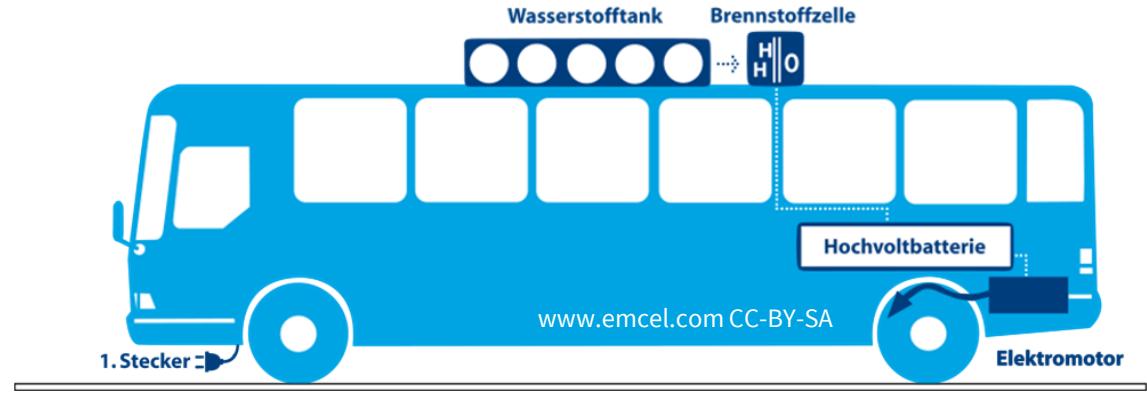
- + Reichweite bis ca. 400 km ohne Zwischenladung
- + Streckenplanung wie bei Dieselbussen
- + Flexibel einsetzbar

Nachteile

- Anschaffungskosten (Stand heute)
- Aufbau eigener Lade- **und** Wasserstoffinfrastruktur (Einstiegskosten)

Konsequenz / mögliche Lösung

- › Gemeinsame Nutzung von Wasserstofftankstellen, auch öffentlich
- › Wasserstofftankstelle als Betreibermodell



3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

Methodik

Datengrundlage

- › EMCEL-Fragebogen
- › Umlauf-/Fahrpläne (VDV 452 Export)

Betrachtete Umläufe

- › Referenztag: Freitag 22.03.2024 (Schultag inkl. Nachtverkehr)
- › 111 Umläufe (44 Solo-, 67 Gelenkumläufe)*

Vorgehensweise Technologiebewertung

- › Betrachtung einer 100 % Flottenumstellung
- › Vergleich zwischen den Technologien Gelegenheits-, Depotladung und Brennstoffzelle (Wasserstoff)
- › Aufbauend auf den Ergebnissen: Detaillierte Betrachtung und Erarbeitung der schrittweisen Umstellung

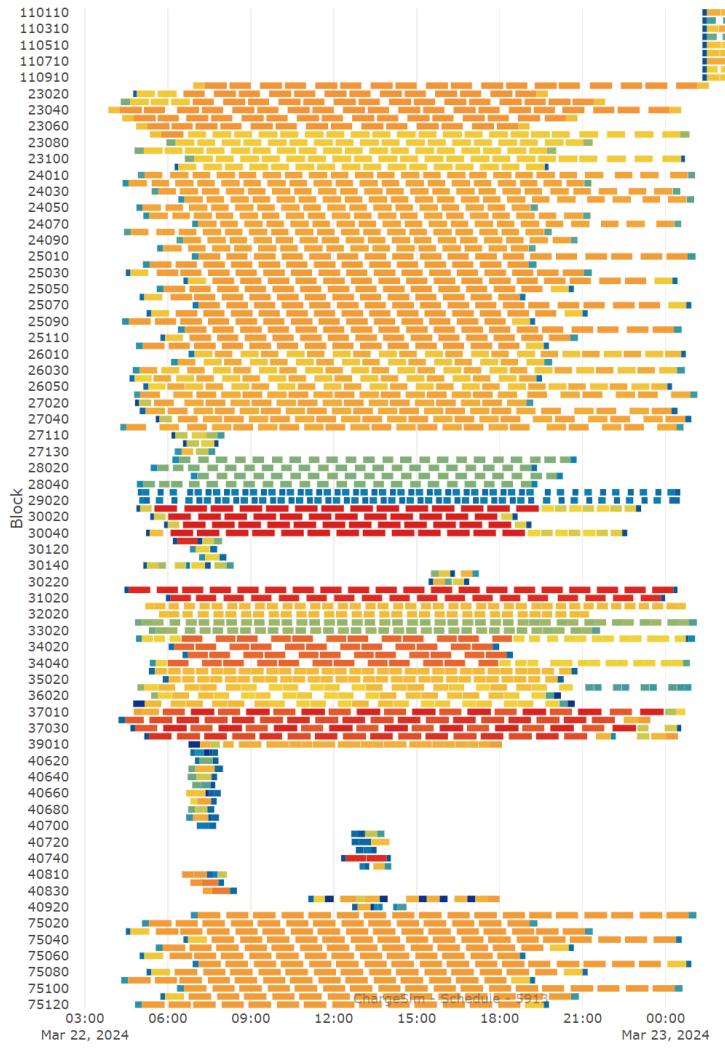
*Zunächst Betrachtung der Variante Linie 5 (Linie 501 nicht berücksichtigt)

3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

3.1 100 % Gelegenheitsladung

3.1 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

100 % Gelegenheitsladung



- ⊕ Keine lokalen Emissionen
- ⊕ Reichweitenerhöhung durch Zwischenladung
- ⊕ Überwiegend linienreiner Einsatz der Busse
- ⊕ Streckenlänge zwischen Pausen bis zu ca. 23 km
- ⊖ Ladeinfrastruktur auf der Strecke und im Depot benötigt
- ⊖ Ausreichend Pausen- / Wendezzeit benötigt
(ggf. Anpassung Umlaufplanung)
- ⊖ Einschränkung der Flexibilität
- ⊖ Komplexere Analyse notwendig

Linienreiner Einsatz und kurze Streckenlängen sprechen für eine 100% Umstellung auf Gelegenheitsladung.

100% Umstellung auf Gelegenheitsladung nur durch Einsatz von ca. 4 Zusatzbussen* möglich – Ladeinfrastruktur im Depot benötigt.

Darüber hinaus sind Verlängerung der Wendeziten oder Kürzung der Strecken denkbar.

*Ggf. geringerer Fahrgastkapazitäten nicht berücksichtigt

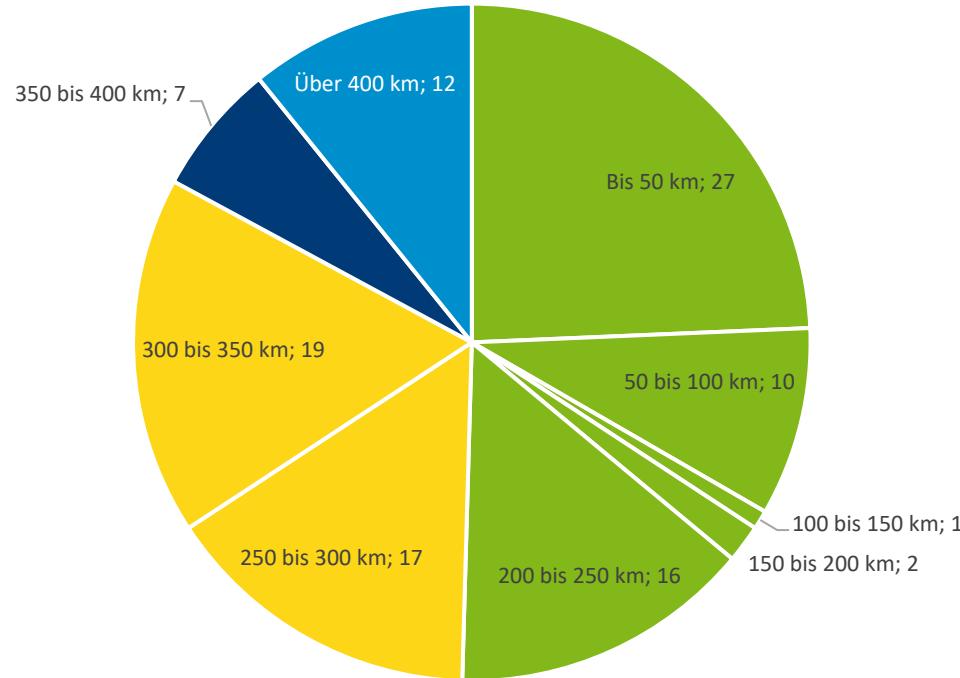
3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

3.2 100% Depotladung

3.2 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

100% Depotladung

Einteilung der Fahrleistung: Freitag



Anzahl Umläufe, Einteilung nach Tagesfahrleistung

- Bis 250 km pro Tag
- 250 bis 350 km pro Tag
- 350 bis 400 km pro Tag
- Über 400 km pro Tag

Umlaufanalyse: 100% Depotladung

- Reichweite ca. 250 km (über alle Jahreszeiten)
- Reichweite nicht elektrischer Zusatzheizung (NEZH) ca. 330 km
- + Flexibel einsetzbar
- + Niedrige Einstiegshürde für die ersten Busse (Keine lokalen Emissionen)
- Ca. 49 % der Fahrten nicht optimal für den Depotlader (100% elektrisch)
- Ca. 17 % der Fahrten nicht optimal für den Depotlader mit NEZH (bis zu 90% der Emissionsreduzierung)

100% Umstellung auf Depotladung nur durch Einsatz von ca. 20 Zusatzbussen* (ca. 10 bei Variante mit NEZH) möglich – Ladeinfrastruktur im Depot benötigt.

Darüber hinaus sind Zwischenladungen am Tag oder Umlauftrennung denkbar.

*Ggf. geringerer Fahrgastkapazitäten nicht berücksichtigt; NEZH = Nicht-elektrische Zusatzheizung

3.2 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

100% Depotladung



Beispiel für die Aufstellung



Quelle:
BVG
electrive.net
ABB
VDL

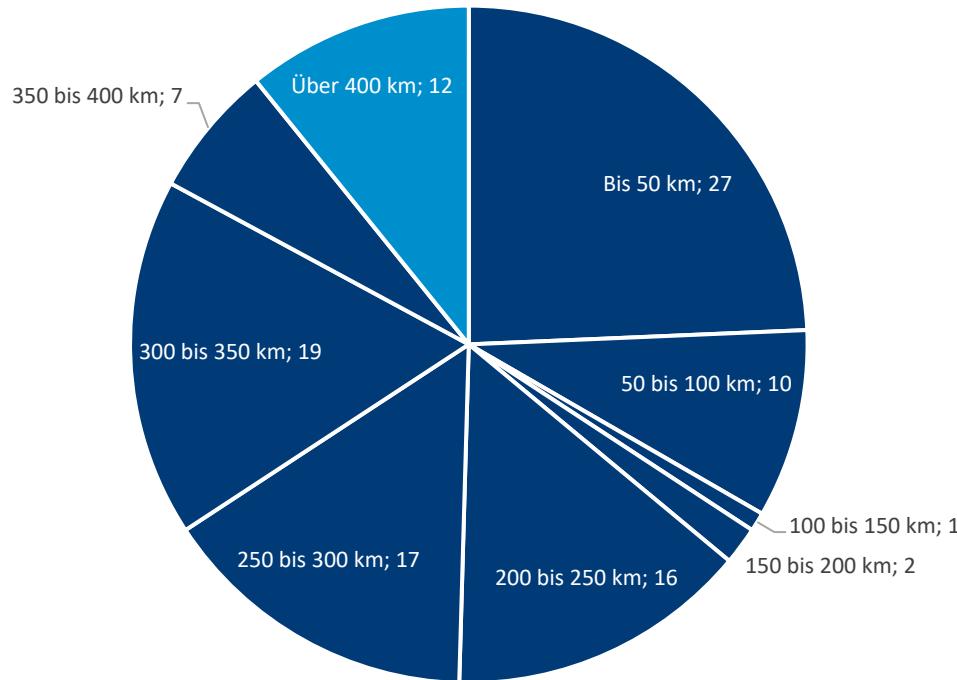
3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

3.3 100 % Brennstoffzelle

3.3 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

100% Brennstoffzelle

Einteilung der Fahrleistung: Ferien



Anzahl Umläufen, Einteilung nach Tagesfahrleistung

■ Bis 400 km pro Tag

■ Über 400 km pro Tag

Umlaufanalyse: 100% Brennstoffzelle

- Reichweite bis ca. 400 km (über alle Jahreszeiten)
- ⊕ Flexibel einsetzbar
- ⊕ Reichweite für alle Umläufe ausreichend
- ⊕ Keine lokalen Emissionen
- ⊖ Ca. 11 % der Fahrten nicht optimal für Brennstoffzelle

100% Umstellung auf Brennstoffzelle nur durch Einsatz von ca. 6 Zusatzbussen* möglich – H₂-Tankstelle für die Flotte benötigt.

Darüber hinaus sind Zwischenbetankung am Tag oder Umlauftrennung denkbar.

*Ggf. geringerer Fahrgastkapazitäten nicht berücksichtigt

3.3 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung 100% Brennstoffzelle



Beispiel für die Aufstellung



Quelle: Framatome / Anleg /
Adjucon / EMCEL
(HRS für ca. 20 Busse)

3. Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

3.4 Umstellungspotential

3.4 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

Umstellungspotential

Fahrgastkapazitäten von E-Bussen

Heute Diesel/Gas		Emissionsfreie Alternative			
Solobus	Gelenkbus	Brennstoffzelle	Gelenkbus	Solobus	Gelenkbus
ca. 90 – 110 Fahrgäste	ca. 150 – 170 Fahrgäste				
		ca. 75 – 90 Fahrgäste**	ca. 120 – 130 Fahrgäste**	ca. 65 – 90 Fahrgäste**	ca. 110 – 120 Fahrgäste**

*bei 200 km garantierter Reichweite **Herstellerabhängig

- › In Abhängigkeit der Hersteller kann erforderliche Fahrgastkapazität nicht mit Solobussen gewährleistet werden
- › Mit zunehmender Batteriekapazität der Batterie-Fahrzeuge (und damit verbundener Reichweite) nimmt die Fahrgastkapazität ab

3.4 Bestandsanalyse und technisch-betriebliche Bewertung

Umstellungspotential

Bewertungsmatrix für die Umstellung auf ein Szenario

	100% Batterie Gelegenheitslader	100% Batterie Depotlader	100% Brennstoffzelle
Aufwand Betriebsumstellung	Linienreiner Einsatz und kurze Streckenlängen sprechen für Gelegenheitsladung. Ca. 4 Zusatzbusse oder Umlaufanpassung	ca. 20 Zusatzbusse (ca. 10 Zusatzbusse für NEZH), Zusatzfahrer, Umlaufneuplanung,	ca. 6 Zusatzbus und/oder Zwischenbetankung, Zusatzfahrer, Umlaufneuplanung
Aufwand Infrastruktur	Stromanschlussleistung sowie zus. Platzbedarf im Depot (ca. 6,0 MVA) und auf der Strecke	Ladeinfrastruktur, Stromanschlussleistung ca. 9,2 MVA, zus. Platzbedarf im Depot	Tankinfrastruktur, Stromanschlussleistung ca. 1,5 – 1,8 MVA zus. Platzbedarf im Depot
Lokale Emissionen	Keine lokalen Emissionen	Keine lokalen Emissionen	Temporär bis zu 50% der Emissionen von Dieselbussen*

Quelle: www.emcel.com CC-BY-SA

Die technisch und wirtschaftlich beste Lösung zählt!

*Bei Verwendung einer nicht-elektrischen Zusatzheizung (NEZH)

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Annahmen 100 % Umstellung der Flotte

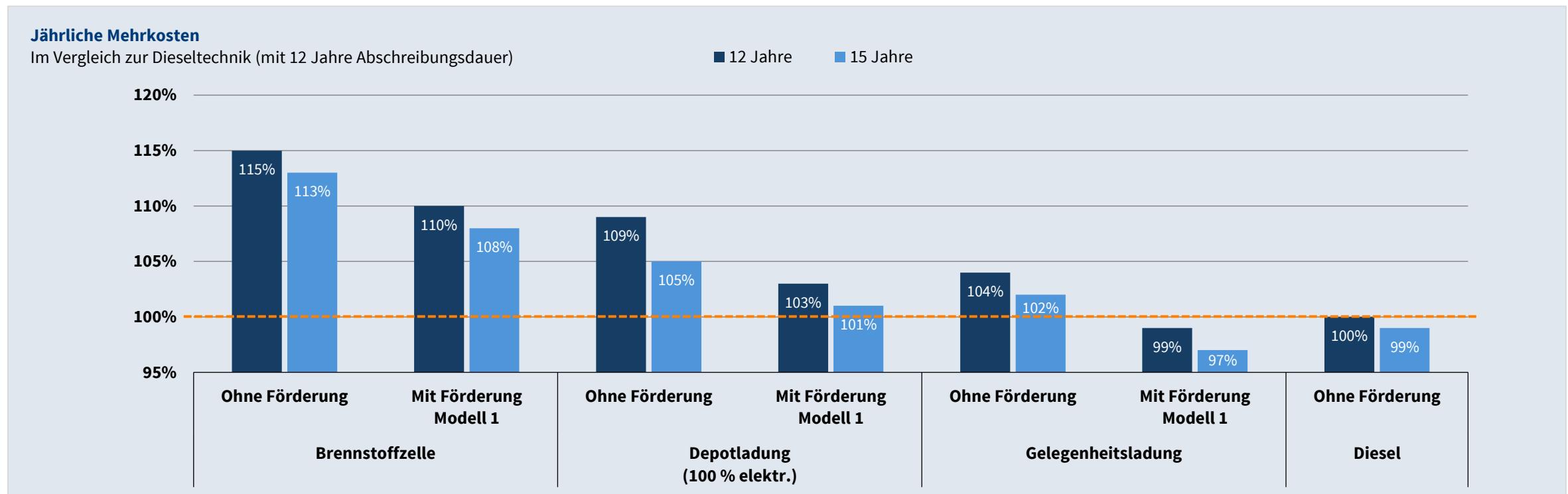
- › Umstellung von 111 Umläufen/Fahrzeugen (25 Solo-, 86 Gelenkumläufe)*
- › Abschreibungsdauer Fahrzeuge: 12 Jahre (Diesel) bzw. 15 Jahre (E-Busse)
- › Abschreibungsdauer Infrastruktur: 30 Jahre
- › Vergleich zwischen:
 - 100 % Depotladung (100% el.),
 - 100 % Gelegenheitsladung und
 - 100 % Brennstoffzelle
- › Fördermodelle:
 - Modell 1: 65 % Fahrzeugmehrkosten, 75% Ladeinfrastrukturkosten, 50 % sonstige Infrastrukturkosten
(angelehnt an Förderbedingungen Baden-Württemberg)
 - Modell 2: 80 % Fahrzeugmehrkosten, 40 % Infrastrukturkosten
(angelehnt an frühere BMDV-Förderung)

*Auf Basis aktueller Beschaffungsplanung der SWU

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ergebnis

Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik (mit 12 Jahren Abschreibungsdauer)



→ Gelegenheitsladung zeigt Tendenz zu wirtschaftlichem Vorteil (v.a. durch geringe Anzahl von Zusatzfahrzeugen)

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ergebnis

Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik (mit 12 Jahren Abschreibungsdauer)

		12 Jahre	15 Jahre
Brennstoffzelle	Ohne Fördnung	115%	113%
	Mit Fördnung Modell 1	110%	108%
	Mit Fördnung Modell 2	111%	109%
Depotladung (100 % elektr.)	Ohne Fördnung	109%	105%
	Mit Fördnung Modell 1	103%	101%
	Mit Fördnung Modell 2	102%	100%
Gelegenheitsladung	Ohne Fördnung	104%	102%
	Mit Fördnung Modell 1	99%	97%
	Mit Fördnung Modell 2	100%	98%
Diesel	Ohne Fördnung	100% (Referenz)	99%

Gelegenheitsladung erweist sich als technisch und wirtschaftlich günstigste Lösung

- › Linienreiner Einsatz und kurze Streckenlängen sind gute Einsatzbedingung
- › Geringerer Einsatz von (notwendigen) Zusatzfahrzeugen im Vergleich zu anderen Technologien
- › Dadurch wirtschaftlicher Vorteil trotz Ladeinfrastruktur auf der Strecke
- › Optimierungspotential mit Erfahrungswerten der ersten Gelegenheitslader gegeben

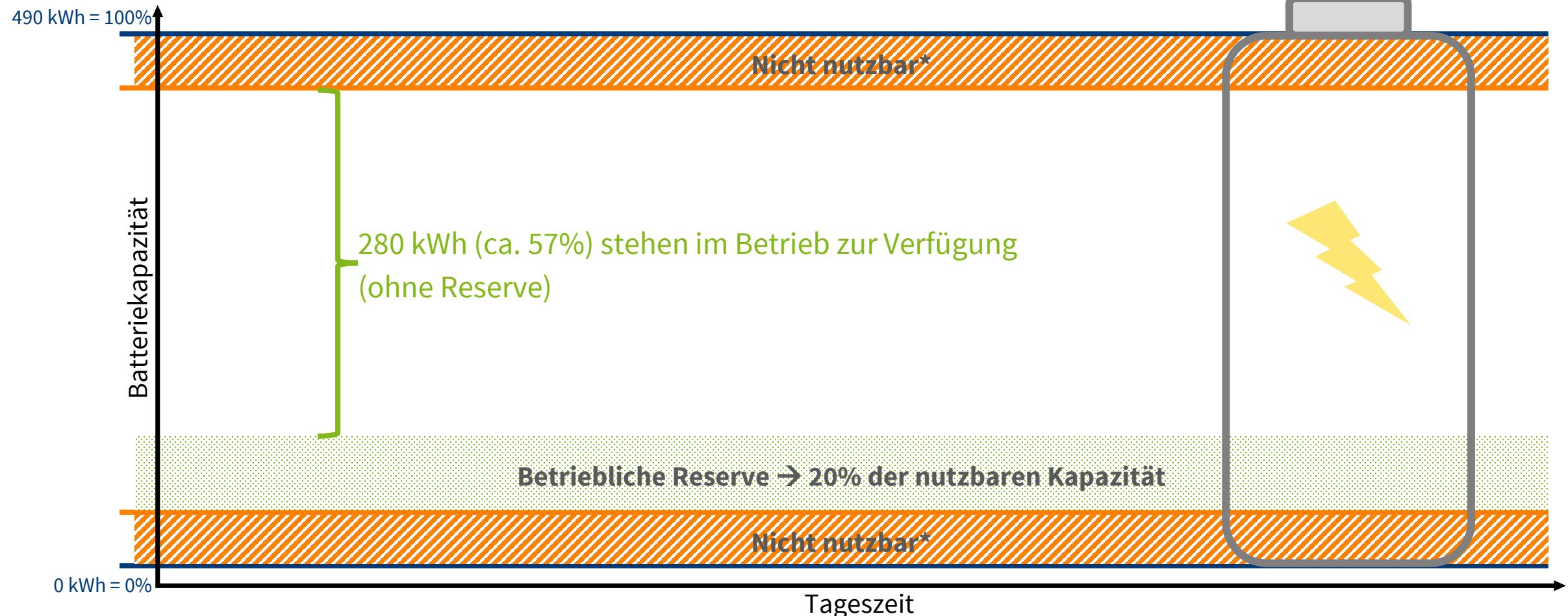
- › Die zu erwartenden jährlichen Mehrkosten gegenüber der Dieselreferenz sind von vielen Parametern abhängig
 - Einen großen Einfluss haben u.a. die zukünftigen **Energiekosten** (Diesel-/Strom-/H₂-Preise) sowie mögliche **Förderungen**

Empfehlung: Erfahrungen im Umgang mit ersten Gelegenheitsladern nutzen, um Flotte auszubauen

5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)

5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)

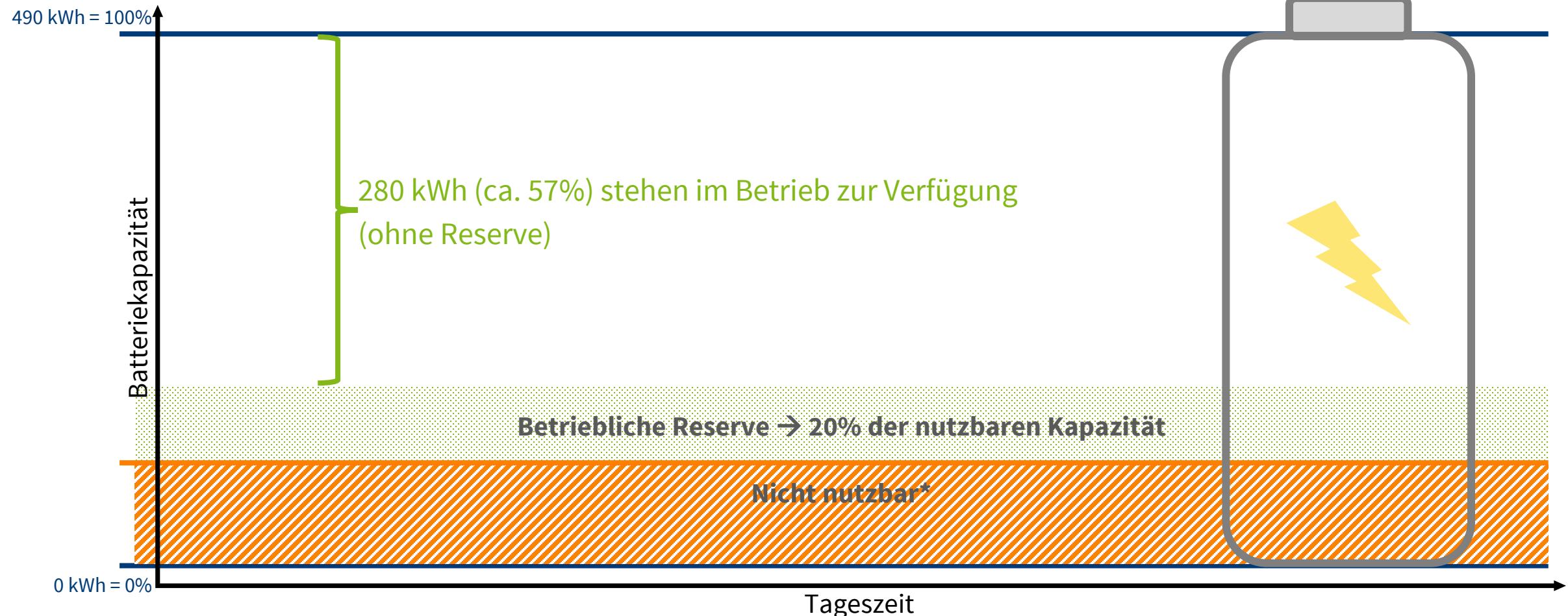
Zusammenhang SOC und Batteriekapazität



*Angabe aktueller Bushersteller

5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)

Zusammenhang SOC und Batteriekapazität



*Angabe aktueller Bushersteller

5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)

Zusammenfassung der Ergebnisse | Eignung der Linien

Ausbaustufen	Linien, die ohne Maßnahmen geeignet sind	Linien, die mit Maßnahmen geeignet sind
1 (2024 – 2025)	4, 8, 8 Ist-Zustand  	
2 (2024 – 2026)	3, 5, 501, 6 Wochentag, 16 17 + 18      	6 Sonntag 
3 (2027)	11 	112 
4 (2028)	9, 14  	
5 (> 2029)	13 	7, 10, 110, 15   
Sonstige	20, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909	

5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)

Zusammenfassung der Ergebnisse | Fahrzeug- und Infrastrukturbedarfe

Linie	Anzahl Busse	Anzahl Zusatzbusse*	Anzahl LP auf der Strecke*	Anzahl LP im Depot
3	11	-	3	11
4	13	-	4	13
5	12	-	4	12
6	5	-	2	5
7	10	1	2	11
8	4	-	1	4
9	2	-	1	2
10	8	1	2	9
110	6	-	2	7
11	4	-	1	4
12	3	1	2	4
13	2	-	2	2
14	4	-	2**	4
15	2	1	1	3
16	3	-	1	3
17+18	4	-	2	4

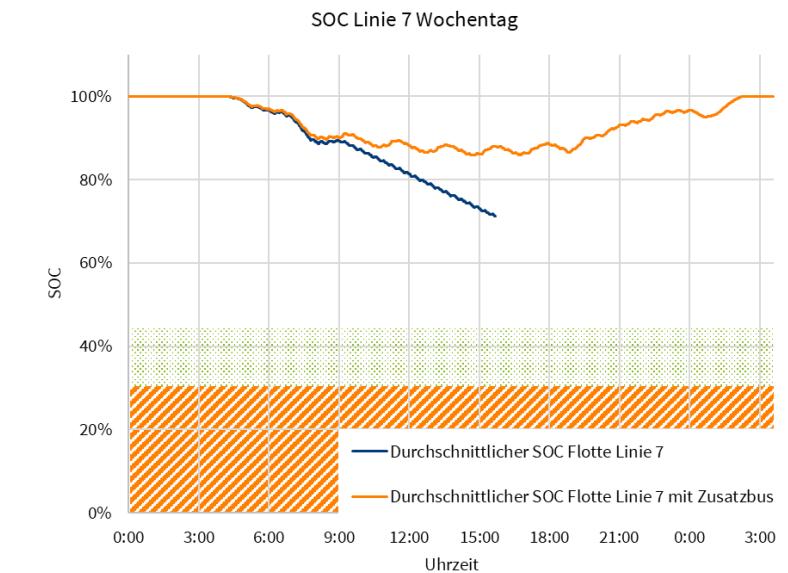
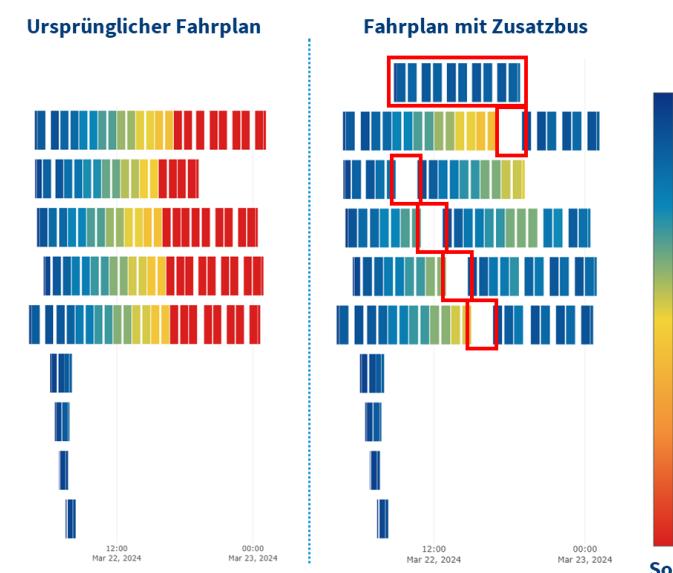
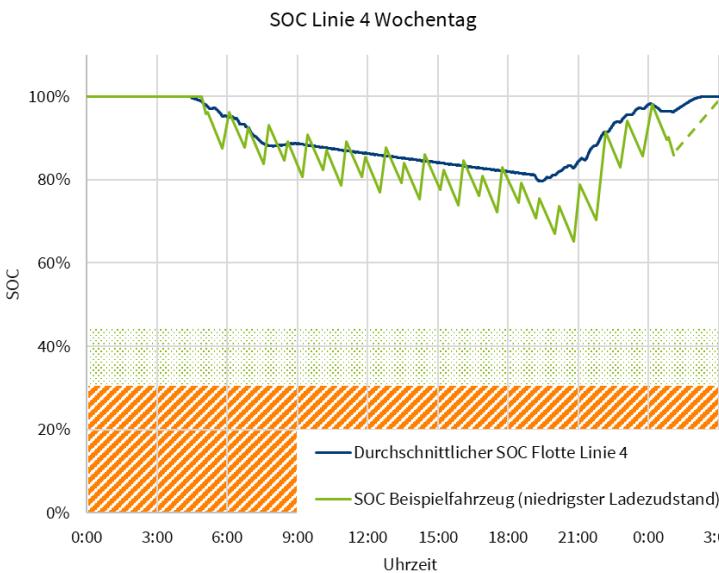
*Optimierungspotential durch Synergieeffekte möglich

**Vsl. Kann einer der beiden Ladepunkte der Linie 4 mit genutzt werden

5. Detaillierten Linienanalyse (Gelegenheitsladung)

Zusammenfassung der Ergebnisse

→ Ausführliche Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende) im Anhang



6. Werkstattausrüstung

Welche Arbeiten sollen durchgeführt werden?

1. Bedienen von Fahrzeugen (Fahren, Reinigen usw.)
2. Konventionelle Arbeiten (mechanische Arbeiten, 24 V-System usw.)
3. Arbeiten am HV-System an abschaltbaren Komponenten
4. Arbeiten am HV-System unter Spannung (Fehleranalyse im Betrieb, Batteriezellen usw.)

6. Werkstattausrüstung

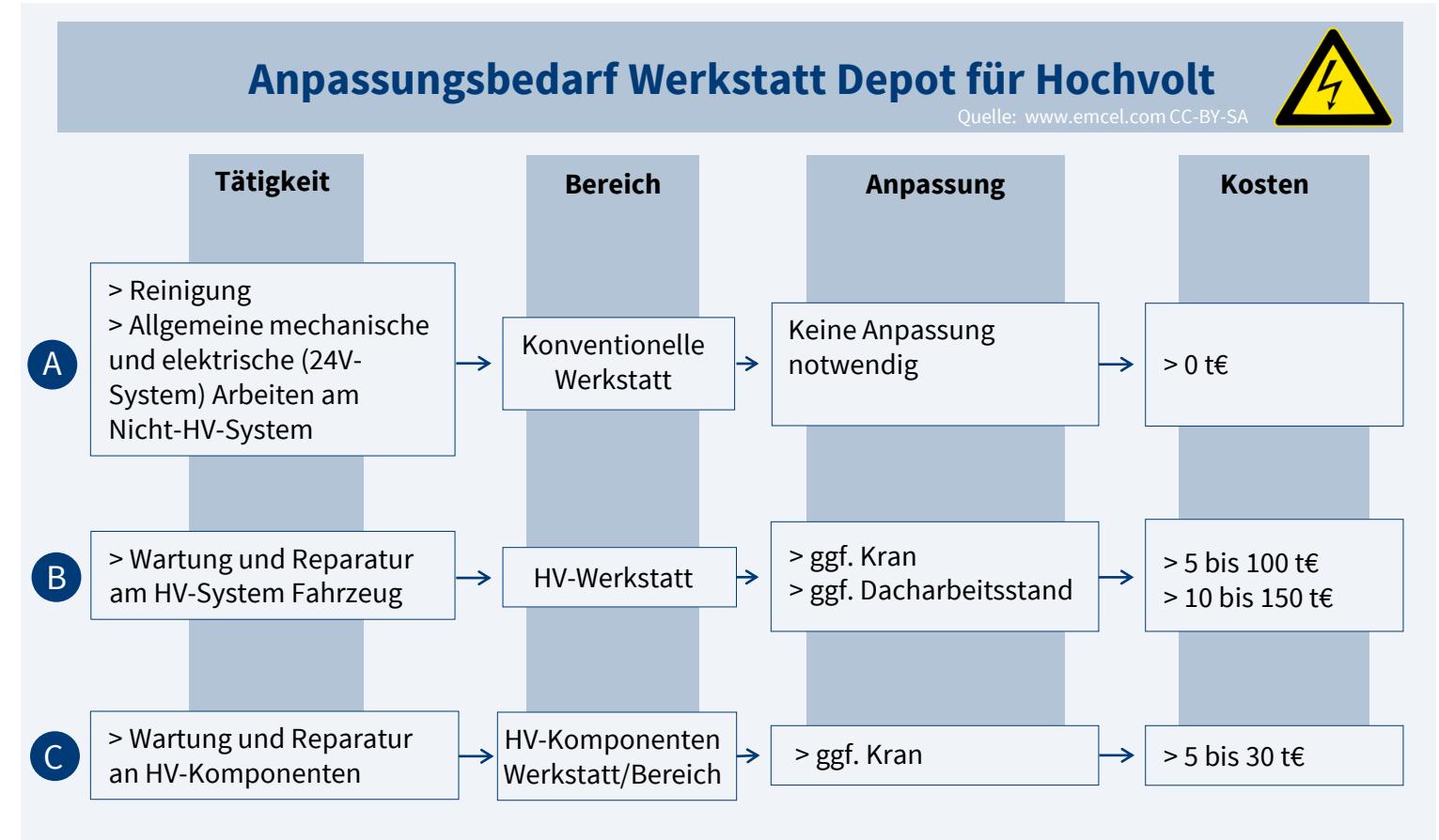
Ertüchtigungsmaßnahmen Hochvolt (HV)

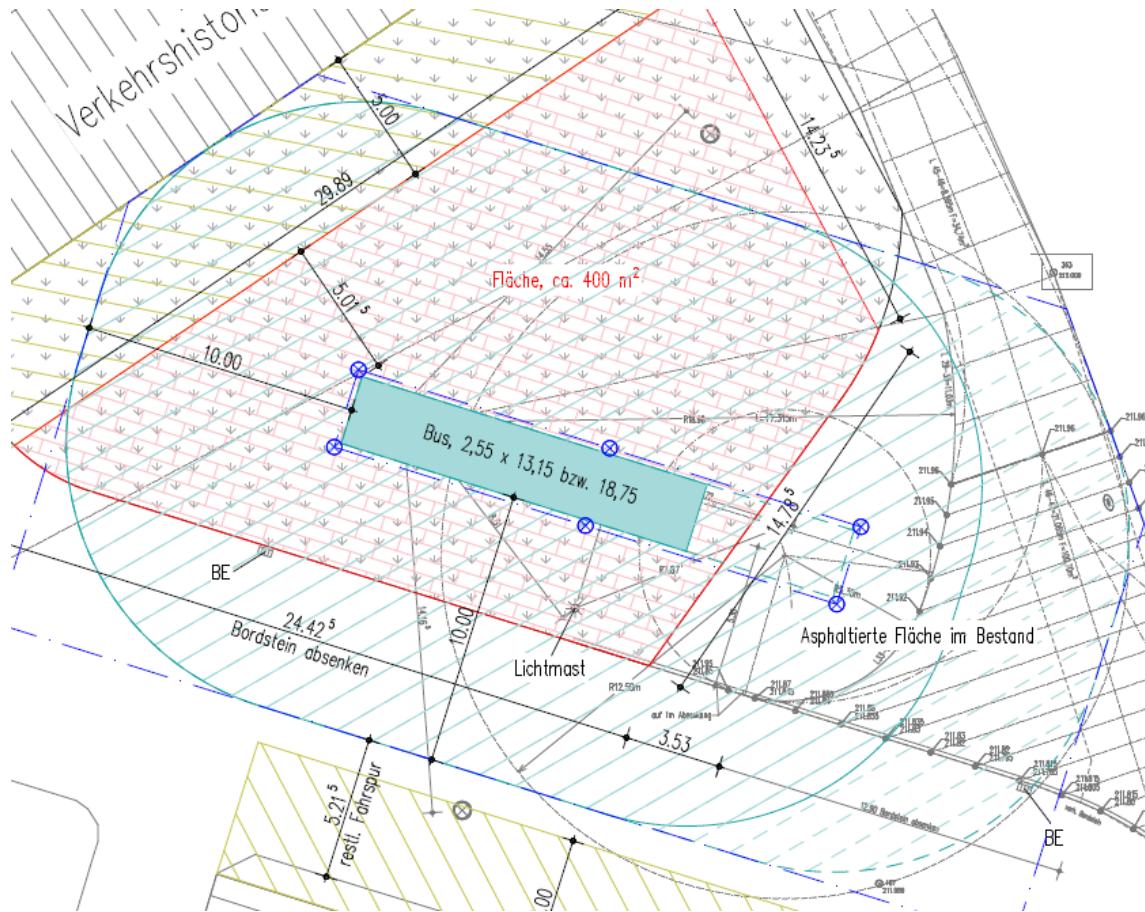
Werkstatt

- › Ertüchtigung für Hochvolt
- › Spezial-, Diagnosewerkzeug (ggf. Fahrzeugherrsteller)
- › Dacharbeitsstände, Deckenkran, Hebebühne, etc.

Betriebshof

- › Havarieplatz / Quarantäneplatz





Quelle: WSW-Wuppertal Vorplanung-Quarantäneplatz

Abstellen auf dem Havarieplatz

- › Ein sicherer Abstellplatz ist einzurichten, für Fahrzeuge mit unklaren Fahrzeugzustand (z.B. defekte HV-Batterie)
- › Fahrzeuge werden an einem im voraus festgelegten Platz abgestellt und ein Radius von 5 m wird mit einem Absperrband abgesteckt
(Platz muss im Bedarfsfall verfügbar sein)

7. Fazit und Handlungsempfehlung

- › Umstellung auf Gelegenheitsladung bietet aus technisch-betrieblicher sowie wirtschaftlicher Sicht hohes Potential
 - Linienreiner Einsatz und kurze Streckenlängen sind gute Einsatzbedingung
 - Reduzierung der Anzahl an Zusatzfahrzeugen im Vergleich zu anderen Technologien möglich
- › Durchgeführte Simulationen zur Linienanalyse bestätigen diese Einschätzung
 - Großteil der Linien ist ohne Maßnahmen für eine Umstellung auf Gelegenheitsladung geeignet*
 - Geeignete Maßnahmen können auf Basis der Simulationsergebnisse definiert und mit ersten Erfahrungswerten überprüft werden

Handlungsempfehlung:

- › Kontinuierliche Umstellung der Flotte über die nächsten Jahre
(Orientierung an Bedarf, Beschaffungsplanung und Gegebenheiten am Fahrzeugmarkt)
- › Entsprechender stufenweiser Ausbau der Ladeinfrastruktur
- › Erfahrungen im Umgang mit ersten Gelegenheitsladern nutzen, um Flotte auszubauen und Optimierungspotentiale auszuschöpfen

*Im Rahmen der zur Simulation angenommenen Rahmenbedingungen



Ingenieurbüro für Brennstoffzelle,
Wasserstofftechnologie und Elektromobilität



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERSAMKEIT

... damit Ihre Energiewende gelingt!

Marius Schneider

Fon +49 (0)221 29 26 95-230

Fax +49 (0)221 29 26 95-229

marius.schneider@emcel.com

EMCEL GmbH

Am Wassermann 28a

50829 Köln

www.emcel.com



Marius Schneider

Projektingenieur

Kontakt

Tel +49(0) 221.29 26 95-230

Fax +49(0) 221.29 26 95-229

marius.schneider@emcel.com

EMCEL GmbH

Ingenieurbüro für Brennstoffzelle

Wasserstofftechnologie und Elektromobilität

Am Wassermann 28a | 50829 Köln

www.emcel.com

EMCEL GmbH

Am Wassermann 28a
50829 Köln

Die in dieser Präsentation aufgeführten Gedanken, Ideen und Aktionen sind in ihrer Gesamtheit, sowie einzeln und in jeder daraus abgeleiteten Form geistiges Eigentum der EMCEL GmbH und unterliegen den geltenden Urhebergesetzen.

Die Verwirklichung von Ideen und Ideenansätzen ist nur mit vorheriger vertraglicher Vereinbarung mit dem Rechteinhaber möglich.

Die ganze oder teilweise Vervielfältigung sowie jede Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet. Der Empfänger dieser Unterlagen haftet bei unberechtigter Verwendung oder Weitergabe an Dritte für daraus entstehenden Schaden.

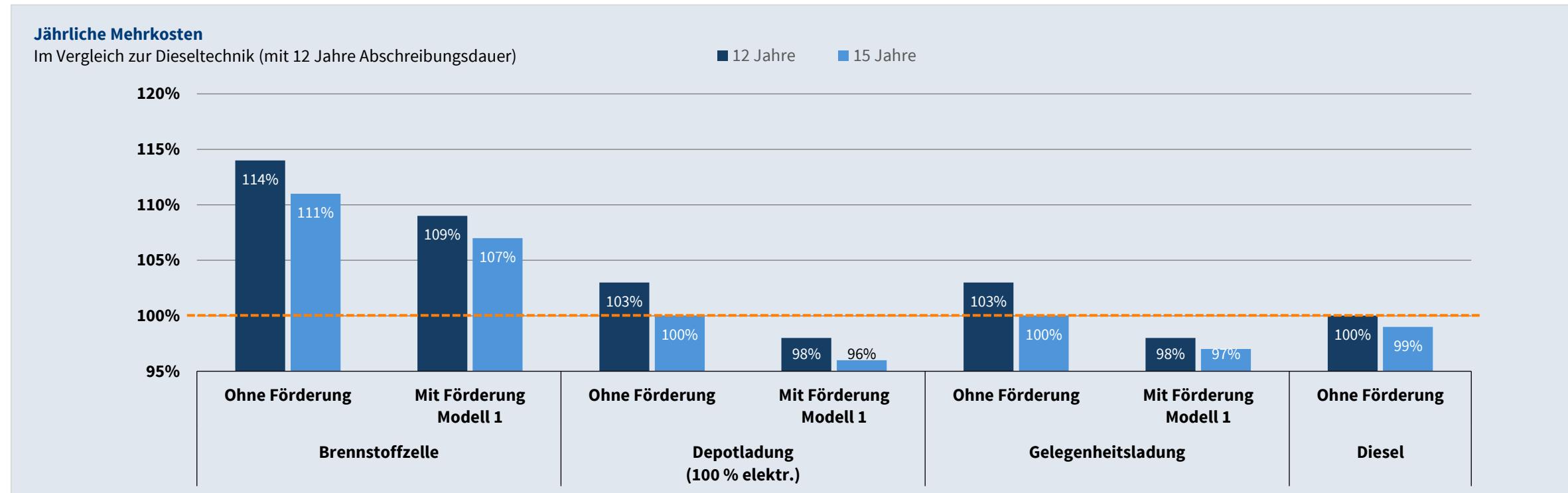
Dem Empfänger werden durch die Überlassung der Unterlagen keine Nutzungsrechte eingeräumt. EMCEL GmbH widerspricht durch die Überlassung der Unterlagen ausdrücklich einer wirtschaftlichen Verwertung durch den Empfänger. EMCEL GmbH behält sich in jedem Fall der Zu widerhandlung die Geltendmachung von Schadensersatzansprüchen vor.

Der Empfänger dieser Unterlagen bestätigt durch Entgegennahme der Unterlagen absolute Vertraulichkeit und absolutes Stillschweigen über die darin genannten Ideen und Vorschläge zu wahren.

Alle angegebenen Preise sind als Richtpreise zu verstehen. Die Preise sind derzeit am Markt üblich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass den angegebenen Preisen keine spezifischen Angebote mit einem detaillierten Lastenheft zugrunde liegen. (Stand August 2024)

Anhang: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – Szenario ohne Zusatzbusse

Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik (mit 12 Jahren Abschreibungsdauer)



Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik (mit 12 Jahren Abschreibungsdauer)

		12 Jahre	15 Jahre
Brennstoffzelle	Ohne Förderung	114%	111%
	Mit Förderung Modell 1	109%	107%
	Mit Förderung Modell 2	109%	108%
Depotladung (100 % elektr.)	Ohne Förderung	103%	100%
	Mit Förderung Modell 1	98%	96%
	Mit Förderung Modell 2	98%	96%
Gelegenheitsladung	Ohne Förderung	103%	100%
	Mit Förderung Modell 1	98%	97%
	Mit Förderung Modell 2	99%	97%
Diesel	Ohne Förderung	100% (Referenz)	99%

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

Liniennetzplan

Linie 3

Linie 4

Linie 5

Linie 6

Linie 7

Linie 8

Linie 9

Linie 10

Linie 11

Linie 12

Linie 13

Linie 14

Linie 15

Linie 16

Linie 17+18

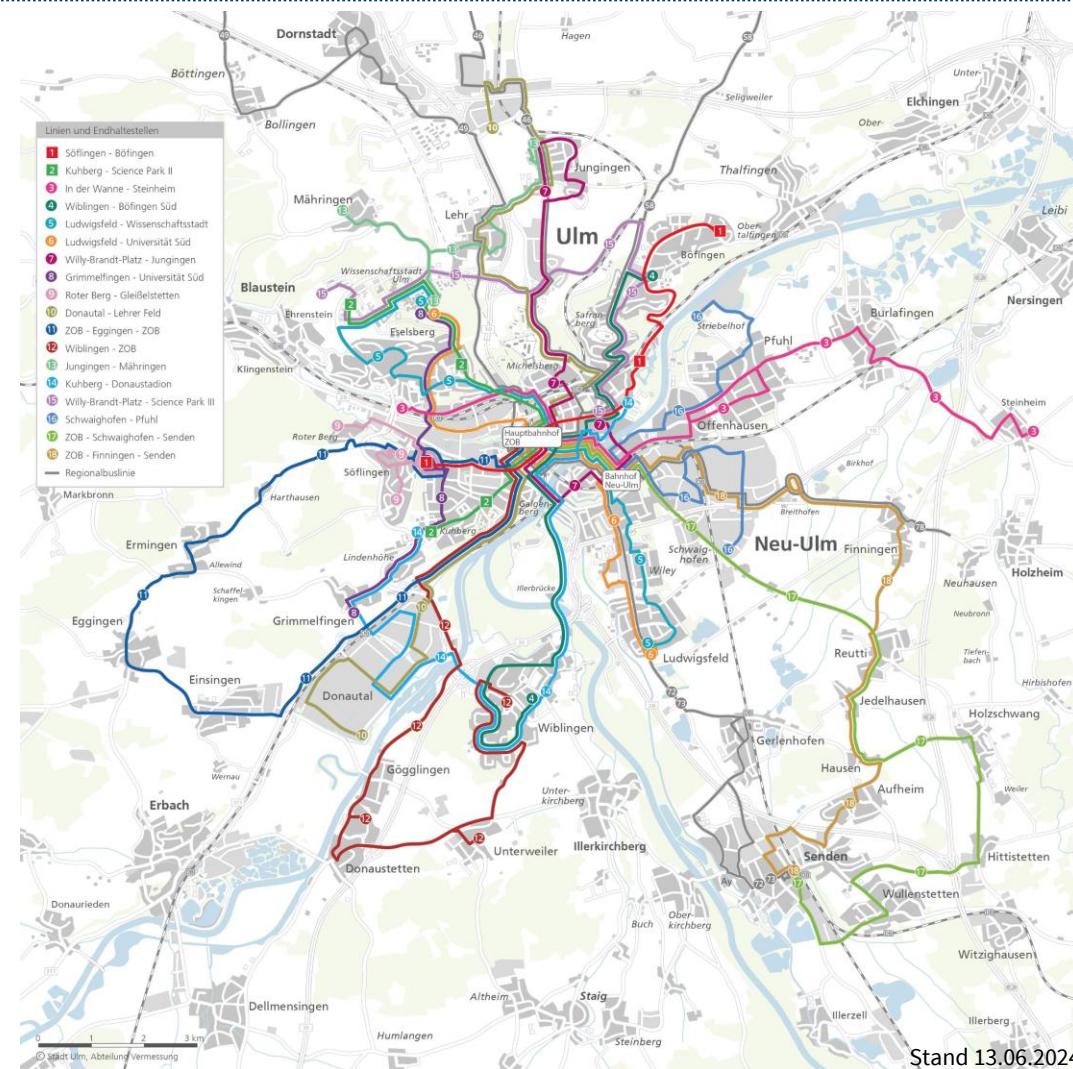
Linie 20

Linie 901 bis 909

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

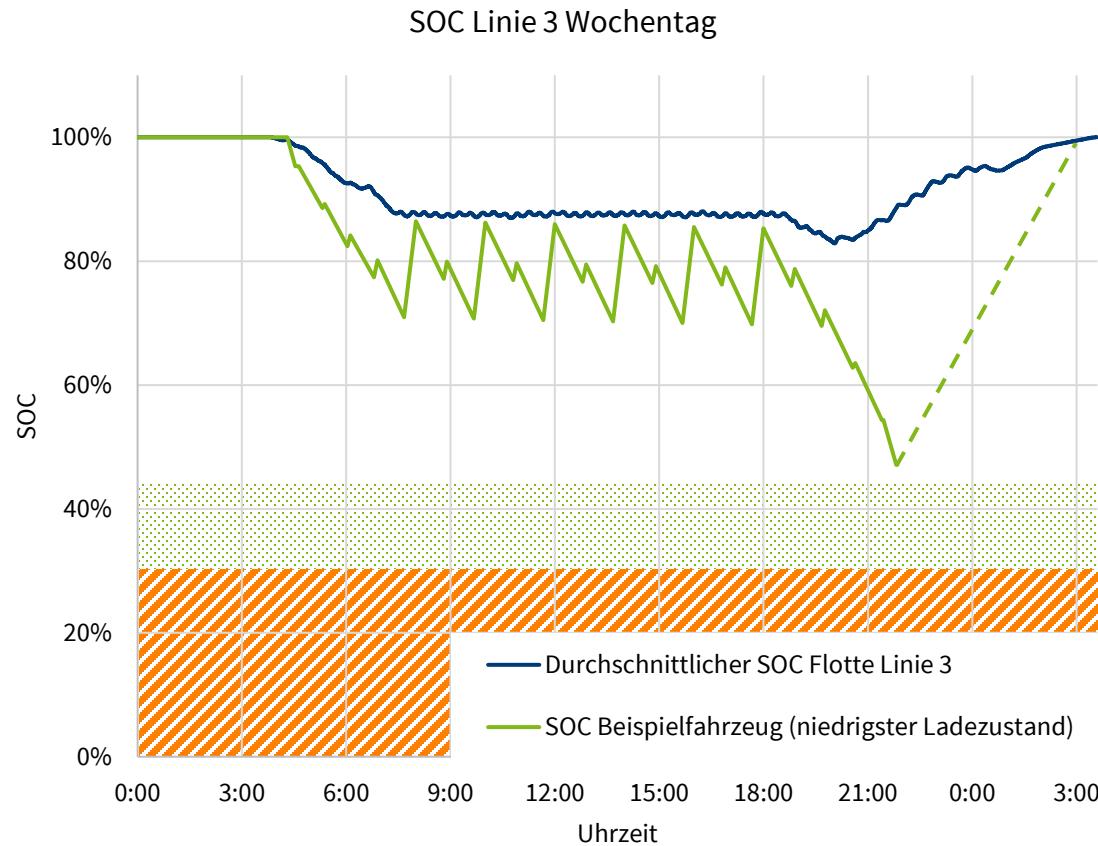
Liniennetzplan

EMCEL



Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

Linie 3



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 47,1%
- › 11 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Steinheim“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Burlafingen“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „In der Wanne“

EH = Endhaltestelle

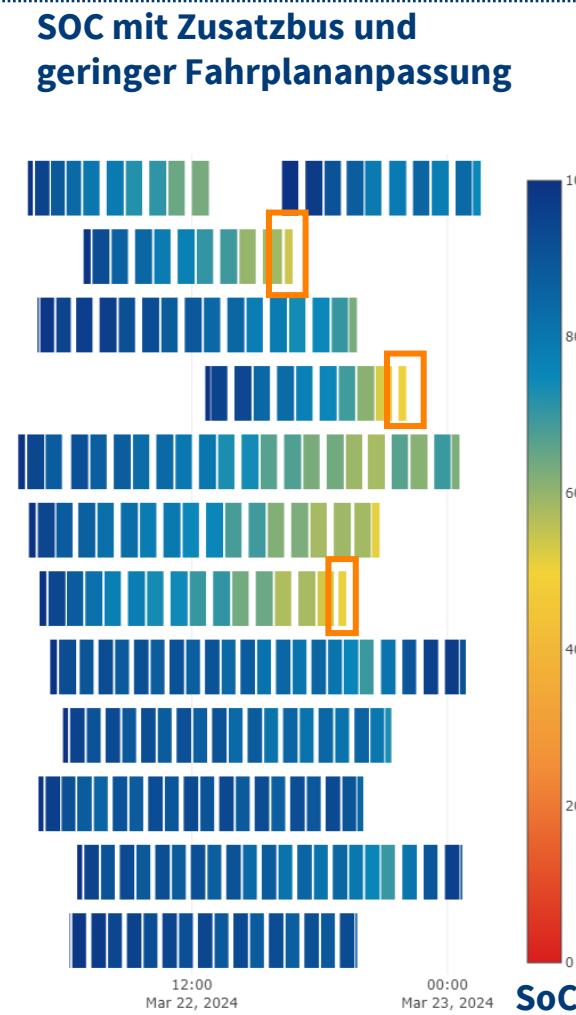
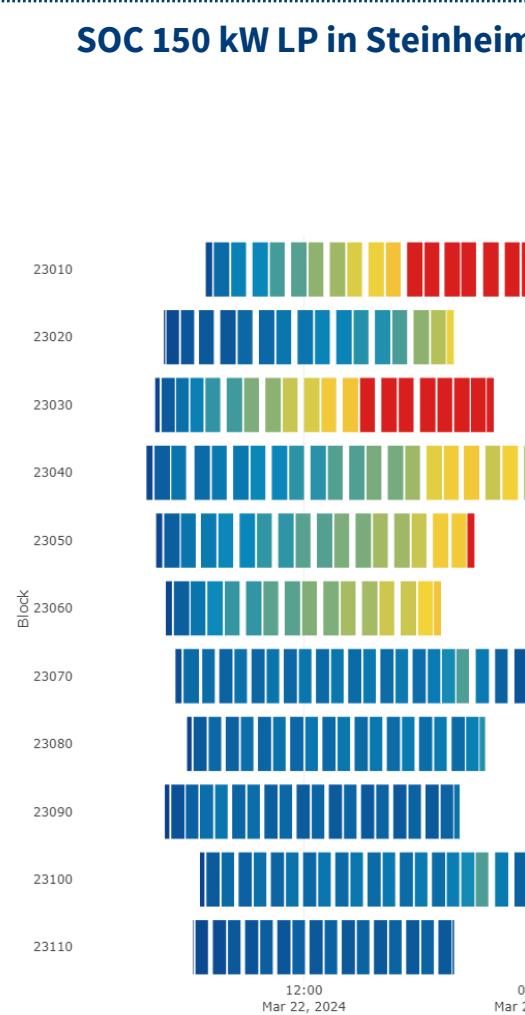
Überprüfung mit reduzierter Ladeleistung an der EH „Steinheim“

- › Reduzierung der Ladeleistung von 300 kW auf 150 kW
 - › Weiterhin 1 Ladepunkt
 - › Sonstige Rahmenbedingungen bleiben bestehen
-
- **Ergebnis:** Reduzierung nur möglich wenn zusätzliche Maßnahmen getroffen werden.
- Mögliche Maßnahmen:
- › Einsatz eines Zusatzbusses
 - › Verlängerung der Wendezzeit von 3 Umläufen vor der Rückkehr ins Depot

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

Linie 3 | Wochentag

EMCEL



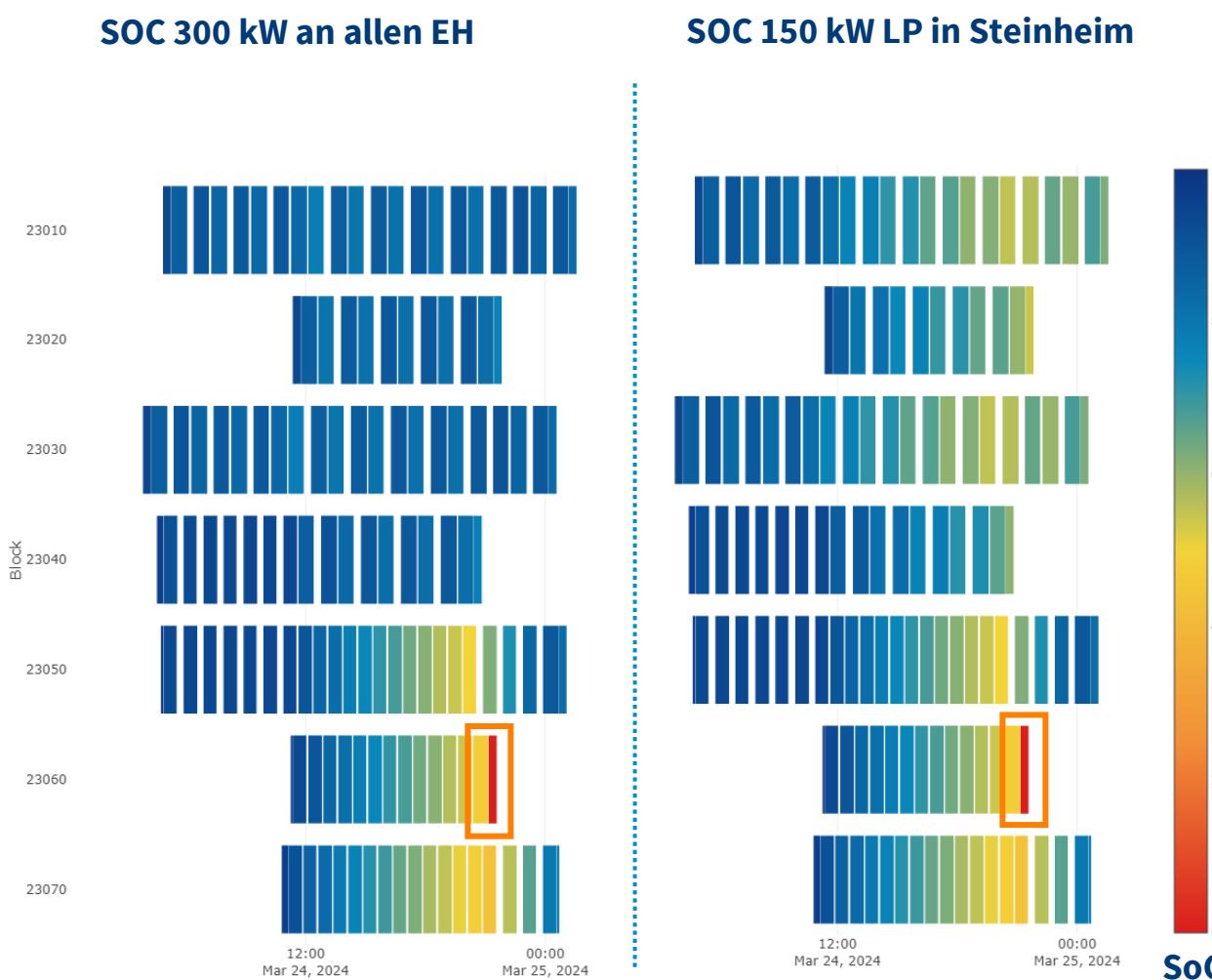
Möglicher Lösungsvorschlag

- › Unterstützung durch einen Zusatzbus in zwei Umläufen notwendig (23010, 23030)
- › Längere Wendezeiten vor der Rückkehr ins Depot (23010, 23030, 23060)
- › Besonders an EH „In der Wanne“ kurze Wendezeiten (~5 min)
- › Ein Zusatzbus übernimmt Streckenanteile zweier Umläufe mit Zwischenladung an „In der Wanne“
- › Beispielhafter Einsatz manuell simuliert

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

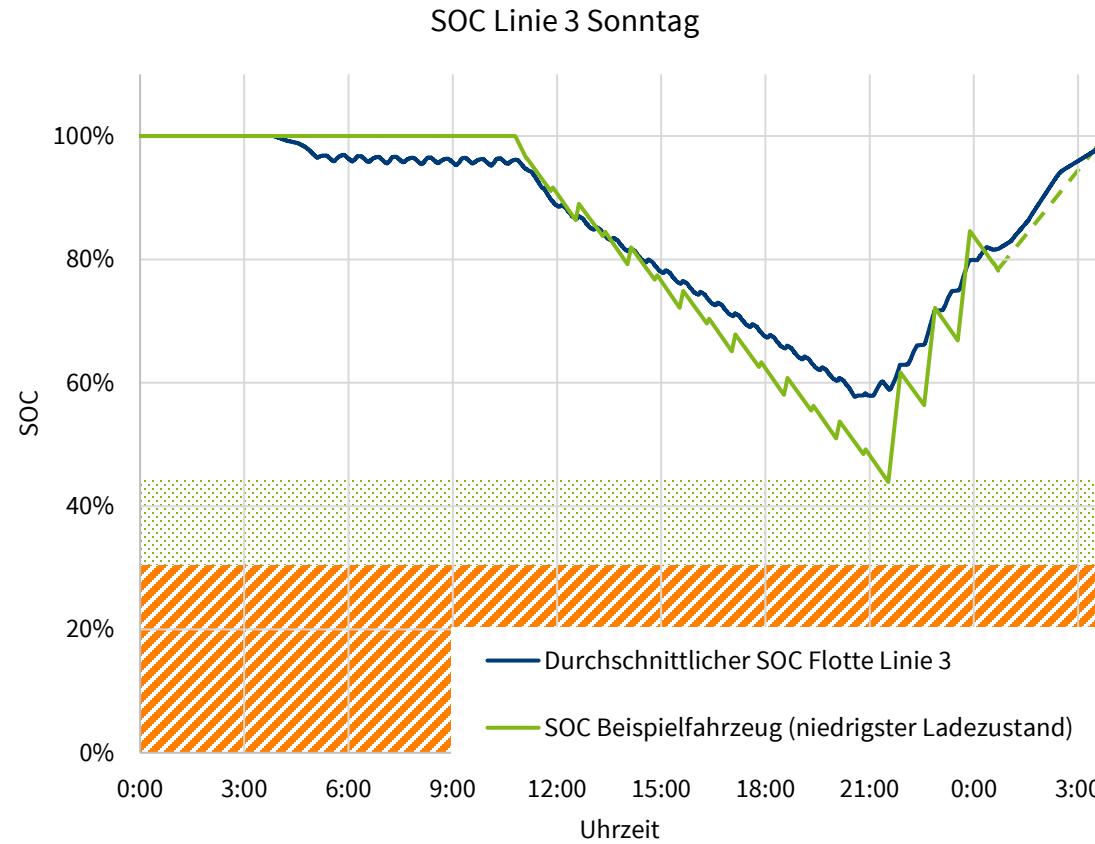
Linie 3 | Sonntag



Linienanalyse

- › Nur sehr geringfügige Anpassung der Linie notwendig
- › Längere Wendeziten vor der Rückkehr ins Depot (23060) unabhängig von Ladeleistung (150kW oder 300kW in Steinheim) notwendig
→ Einhaltung 20%-Grenze 
- › Betriebliche Sinnhaftigkeit zu diskutieren, da im Depot sowieso nachgeladen werden kann

Linie 3 | Sonntag



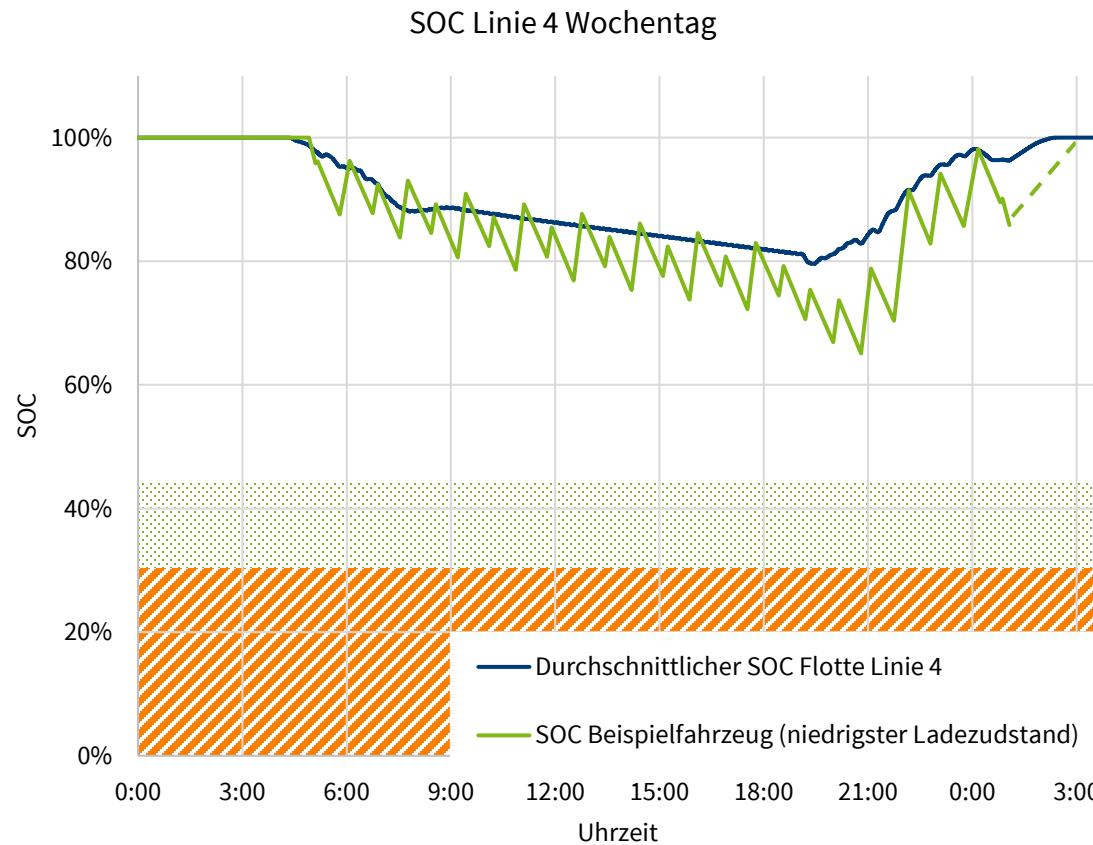
Linienanalyse

- › Linie ist **mit minimaler Anpassung** geeignet für Gelegenheitsladung
(Anpassungen im SOC Diagramm schon enthalten)
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 43,9%
- › 1 Ladepunkt (150 kW) an EH „Steinheim“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Burlafingen“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „In der Wanne“

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

Linie 4



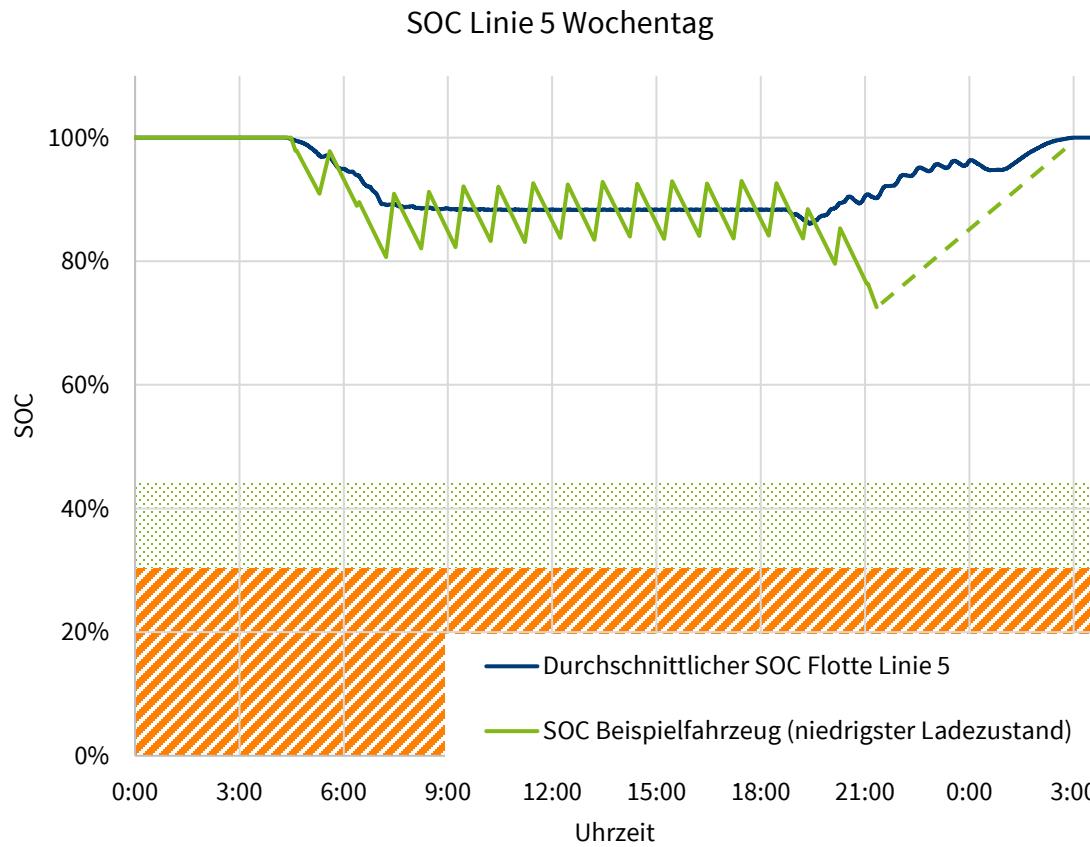
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 65,1%
- › 13 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 2 Ladepunkte (300 kW) an EH „Egertweg“*
- › 2 Ladepunkte (300 kW) an EH „Wiblingen“

*Ggf. kann ein Ladepunkt mit entsprechender Planung eingesperrt werden; EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

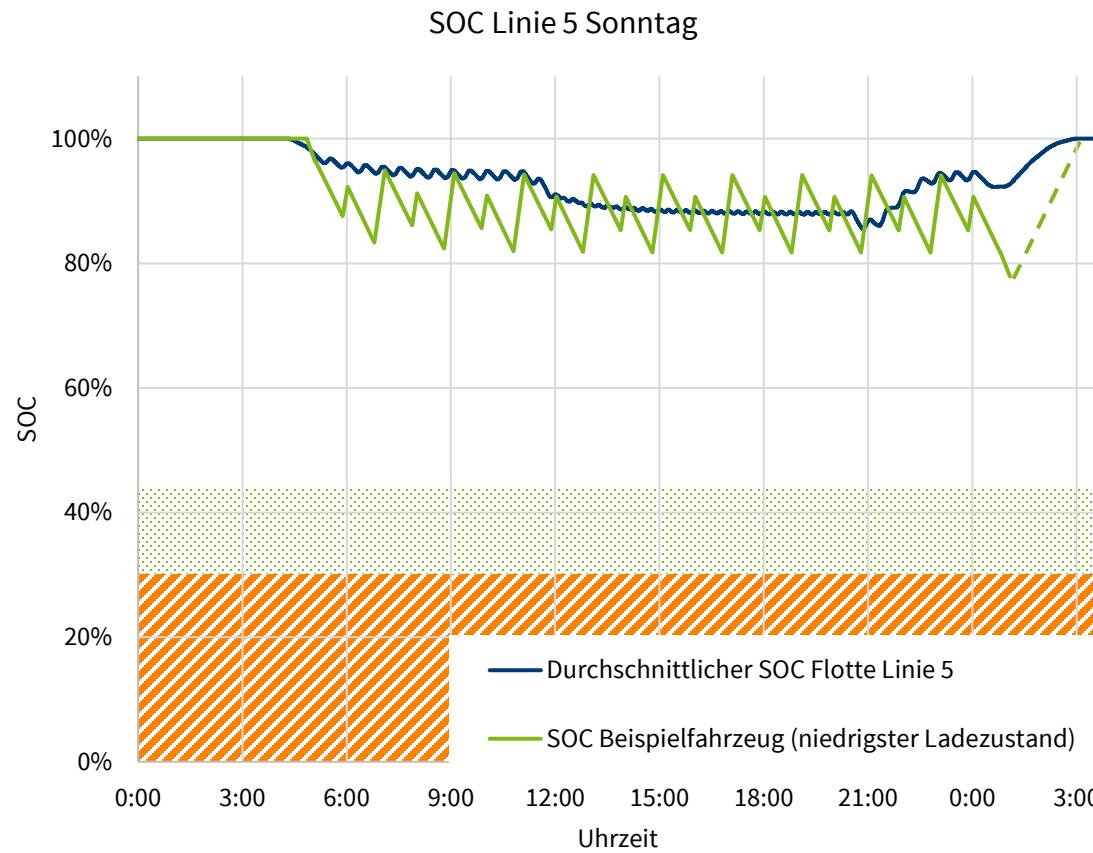
Linie 5



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 72,6%
- › 12 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 2 Ladepunkte (300 kW) an EH „Ludwigsfeld“
- › 2 Ladepunkte (300 kW) an EH „Uni Süd“

EH = Endhaltestelle



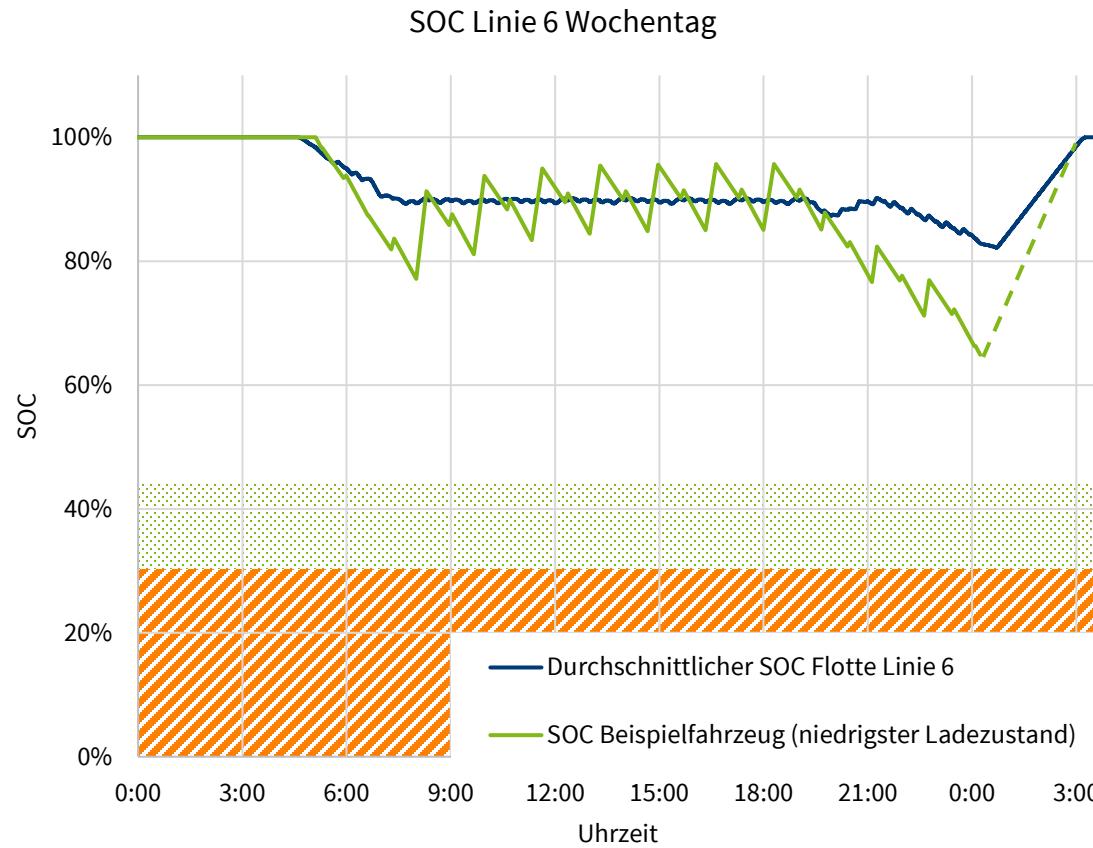
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 78,0%
- › 2 Ladepunkte (300 kW) an EH „Ludwigsfeld“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Uni Süd“

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

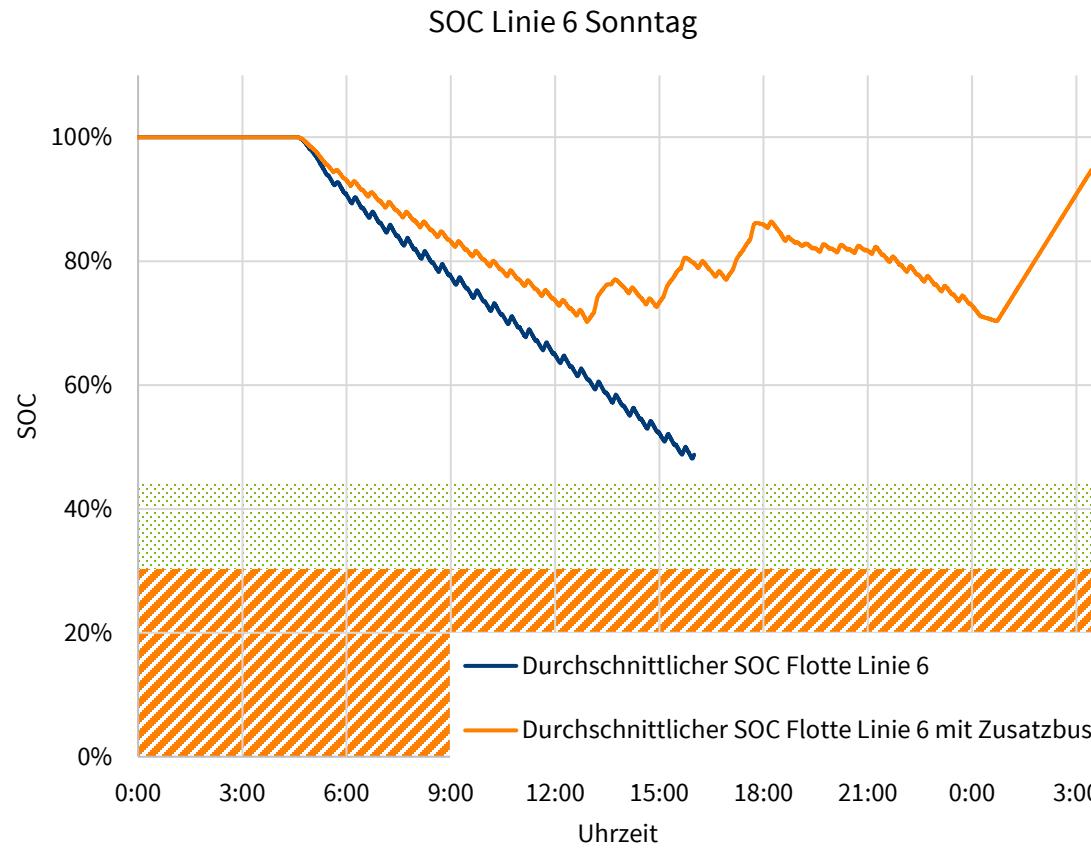
Linie 6



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 64,9 %
- › 5 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Uni Süd“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Ludwigsfeld“

EH = Endhaltestelle



Linienanalyse

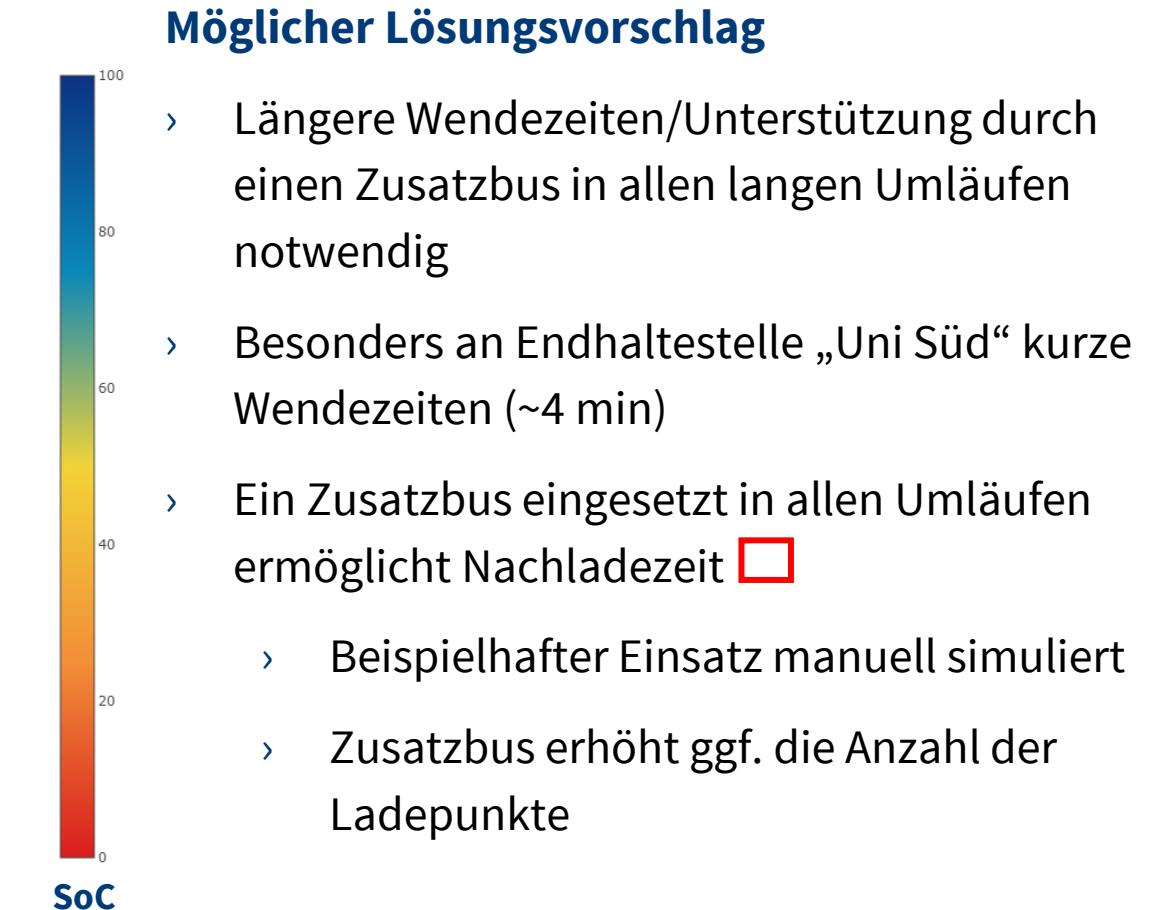
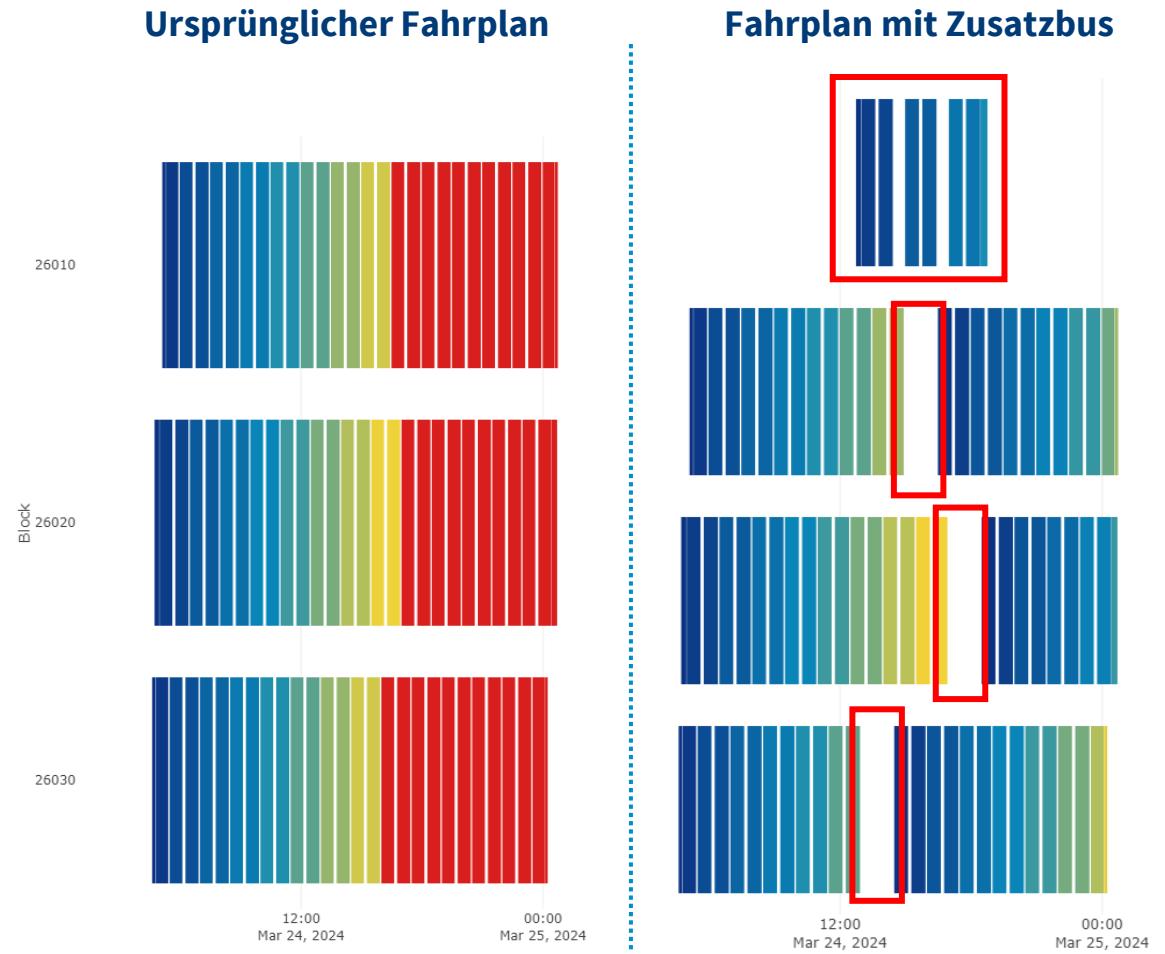
- › Linie ist **nur mit Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Uni Süd“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Ludwigsfeld“
- › Mögliche Lösung: Einsatz von einem Zusatzbus

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

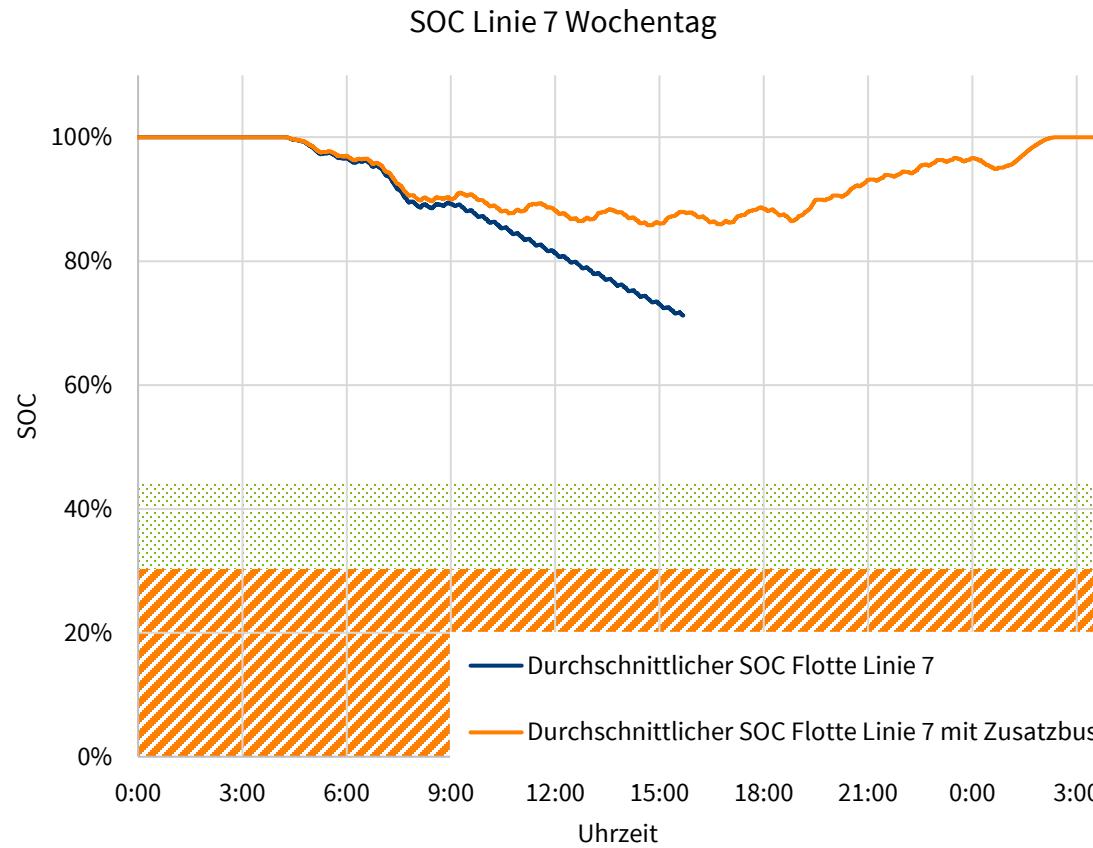
Linie 6 | Sonntag

EMCEL



Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

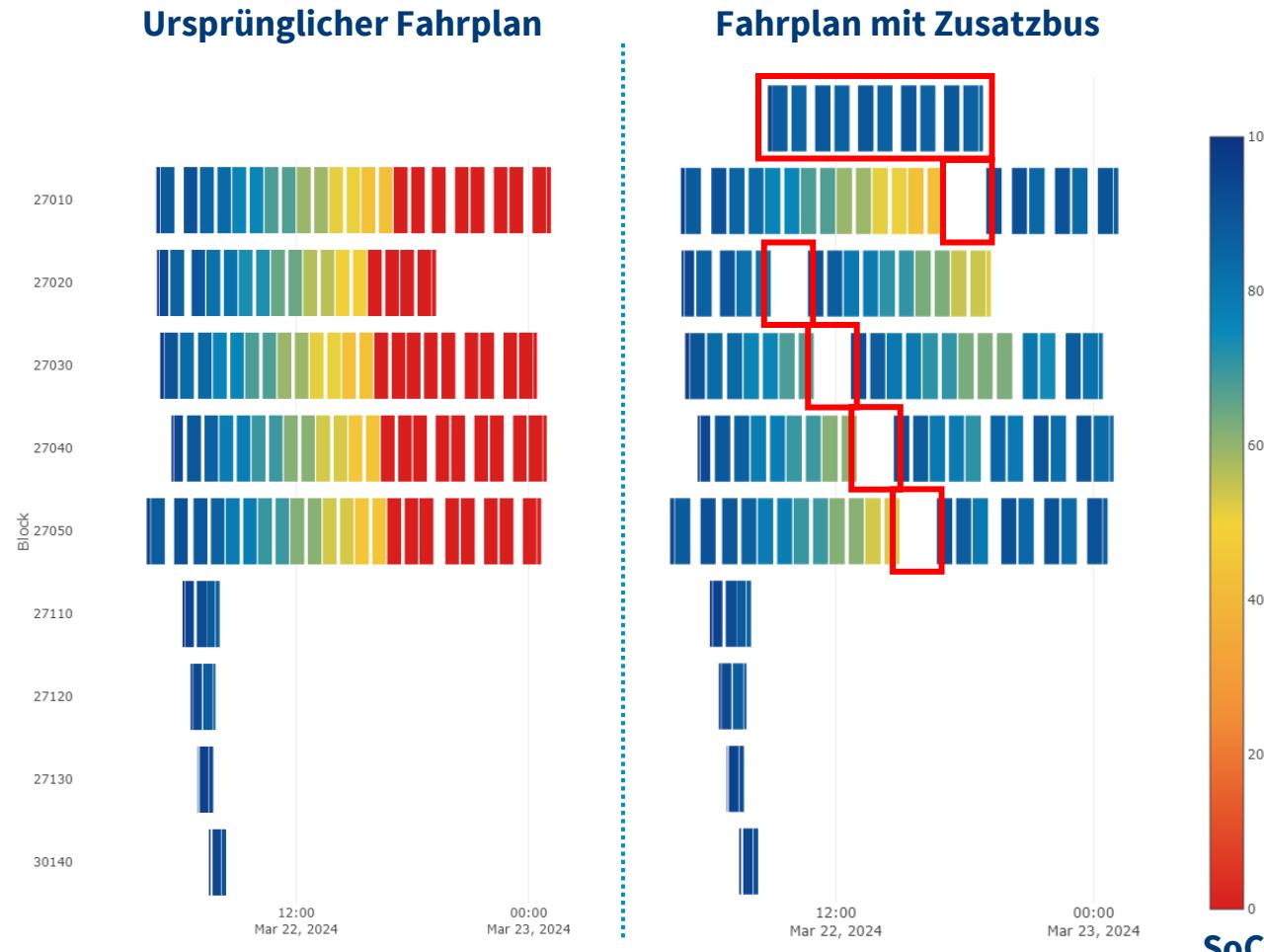
Linie 7



Linienanalyse

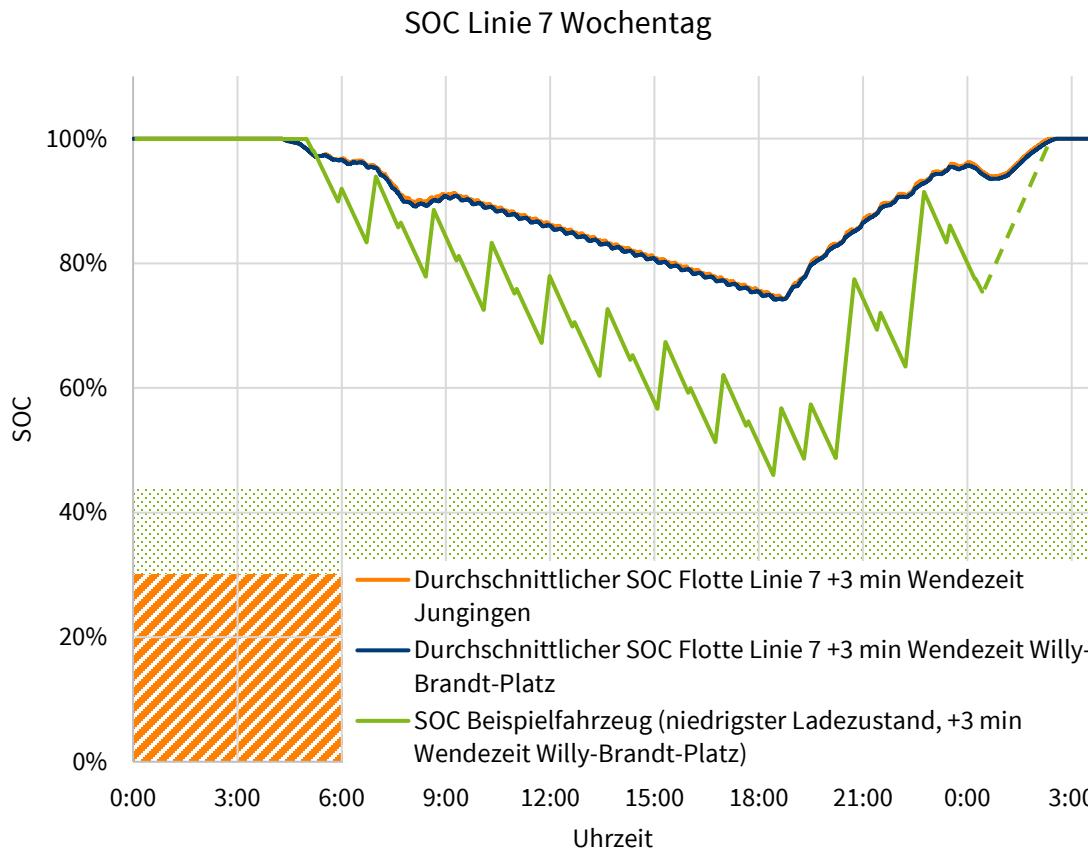
- › Linie ist **nur mit Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › 10 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Jungingen“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Willy-Brandt-Platz“
- › Mögliche Lösung: Einsatz von einem Zusatzbus

EH = Endhaltestelle



Möglicher Lösungsvorschlag

- › Längere Wendeziten/Unterstützung durch einen Zusatzbus in allen langen Umläufen notwendig
- › Besonders an Endhaltestelle „Jungingen“ kurze Wendeziten (~4 min)
- › Ein Zusatzbus eingesetzt in allen Umläufen ermöglicht Nachladezeit □
 - › Beispielhafter Einsatz manuell simuliert
 - › Zusatzbus erhöht ggf. die Anzahl der Ladepunkte

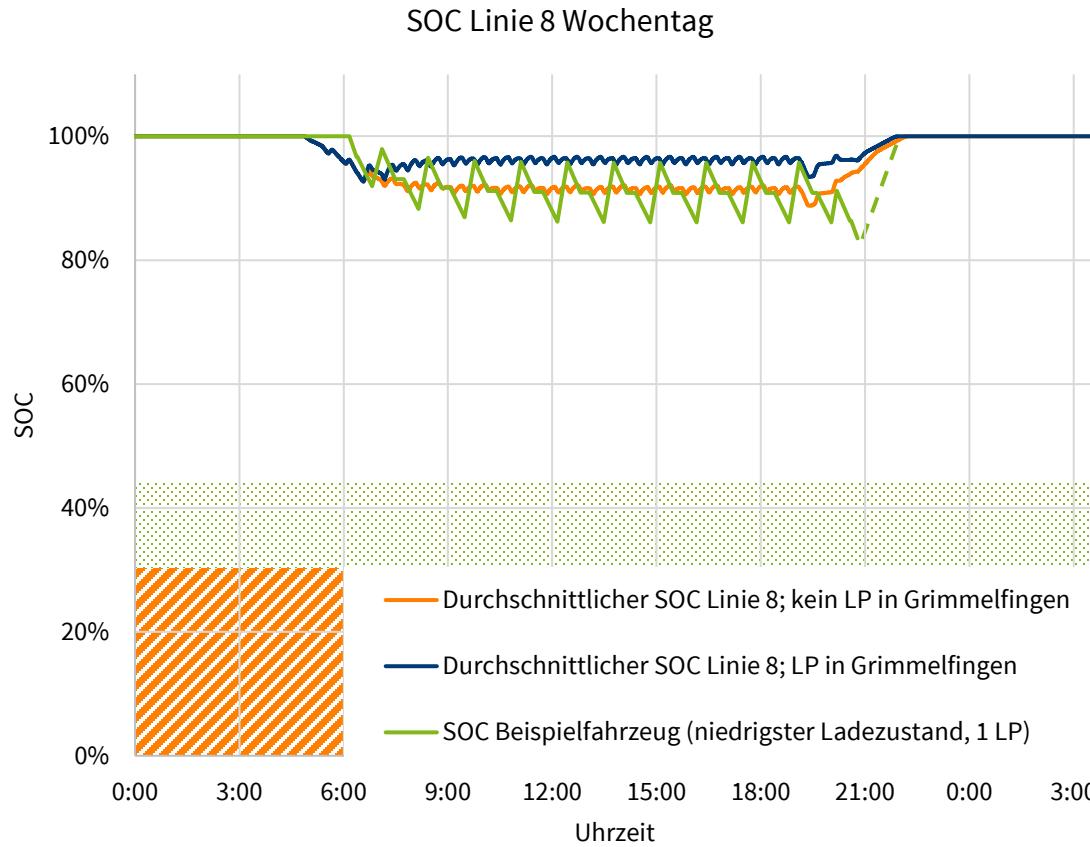


Möglicher Lösungsvorschlag

- › Verlängerung der Wendezzeit um 3 Minuten an EH „Jungingen“ oder „Willy-Brandt-Platz“ ermöglicht ausreichendes Nachladen
- › Größere Wendezzeit insbesondere bis 18:30 Uhr erforderlich
- › Zusätzlicher Ladepunkt ggf. notwendig, abhängig von Überschneidungen der Wendezeiten und Möglichkeit zum Umsetzen der Fahrzeuge
- › Alternativ: Pauschale Verkürzung der Strecken um 2km

EH = Endhaltestelle

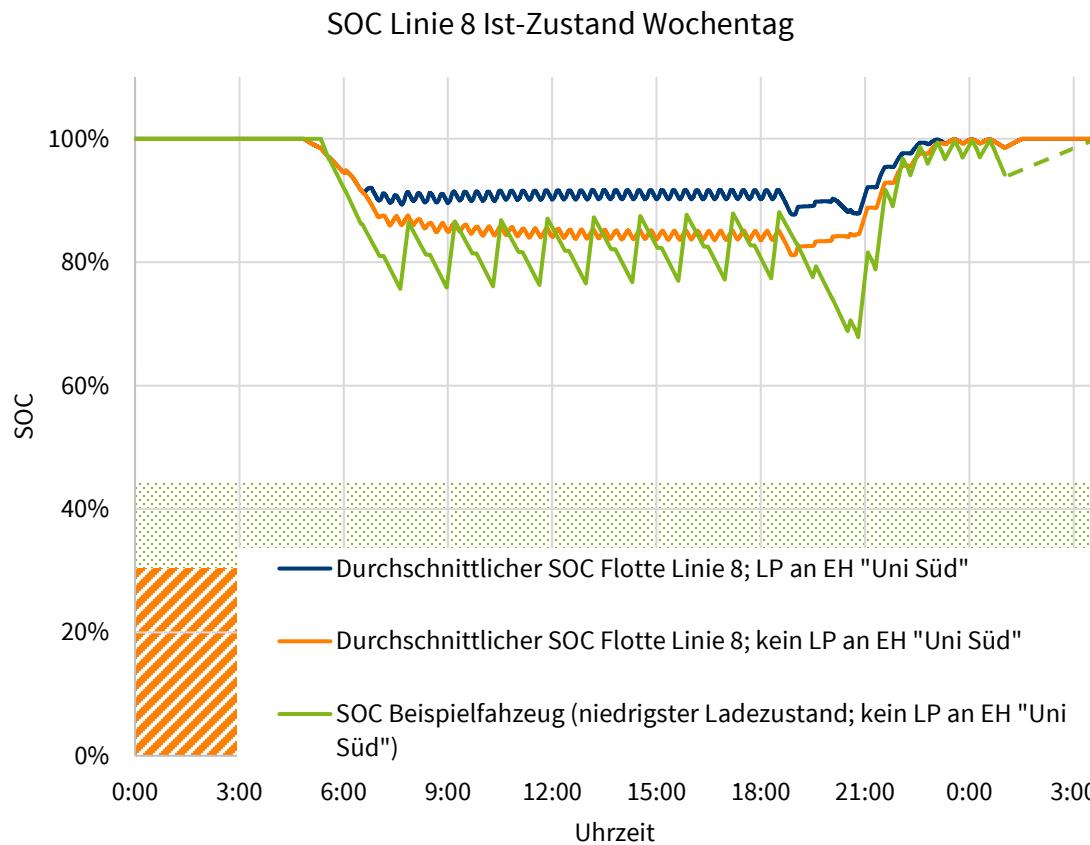
Linie 8



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 85,6 %
- › 4 Ladepunkte im Depot
- › 1/0 Ladepunkt (300 kW) an EH „Grimmelfingen“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Uni Süd“

EH = Endhaltestelle

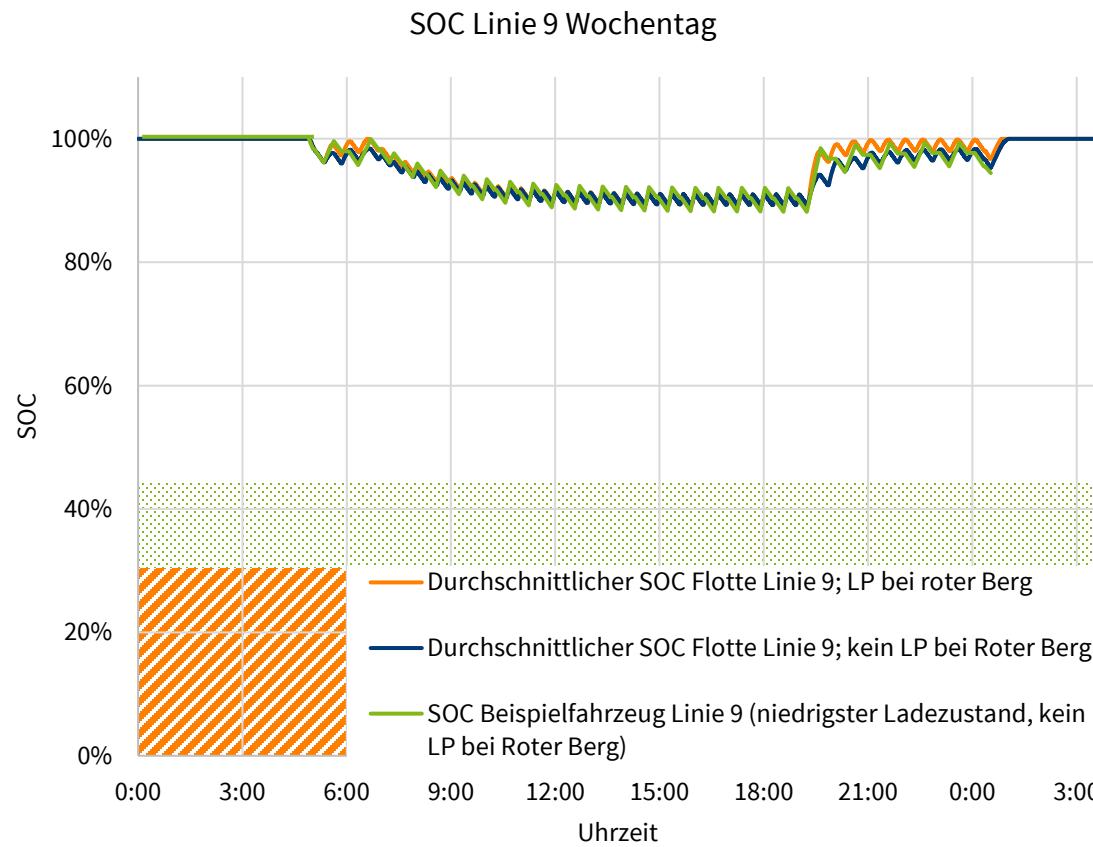


Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 67,8 %
- › 4 Ladepunkte im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Grimmelfingen“
- › 1/0 Ladepunkt (300 kW) an EH „Uni Süd“

EH = Endhaltestelle

Linie 9

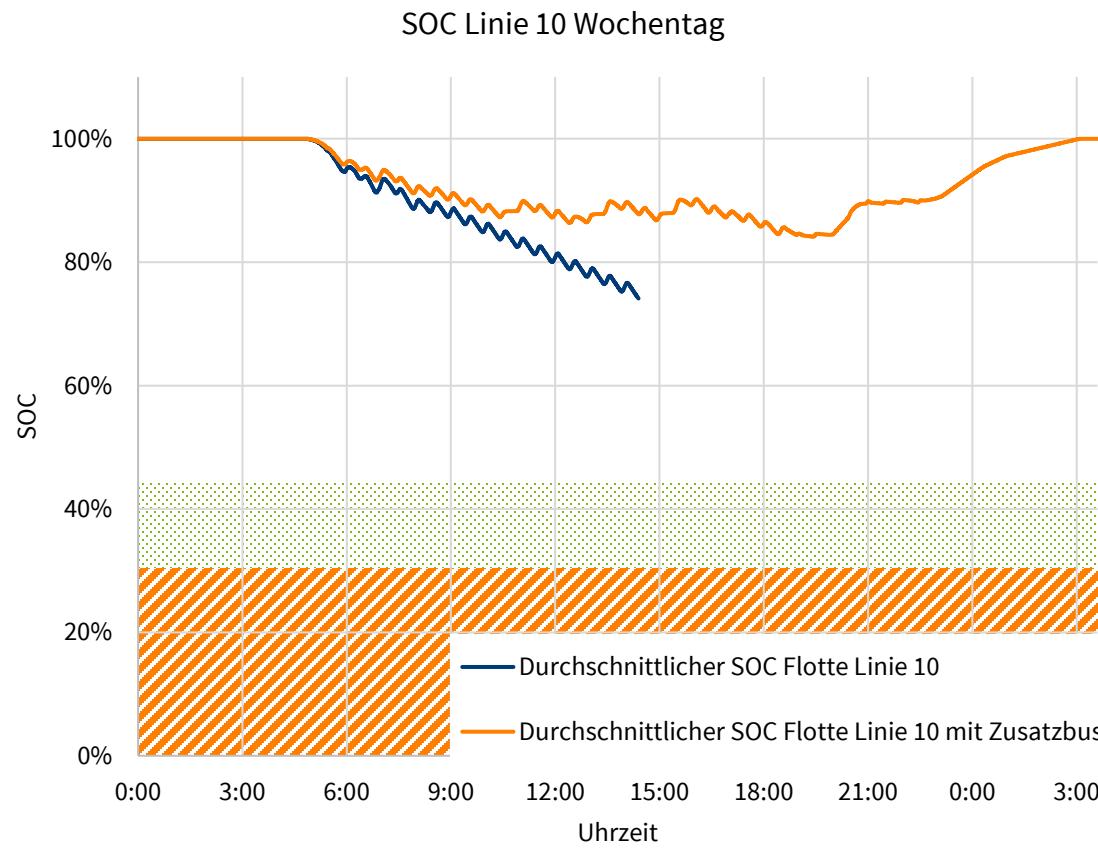


Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug für beide Optionen: 88,2 %
- › 2 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1/0 Ladepunkt (300 kW) an EH „Roter Berg“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Gleißelstetten“

EH = Endhaltestelle

Linie 10



Linienanalyse

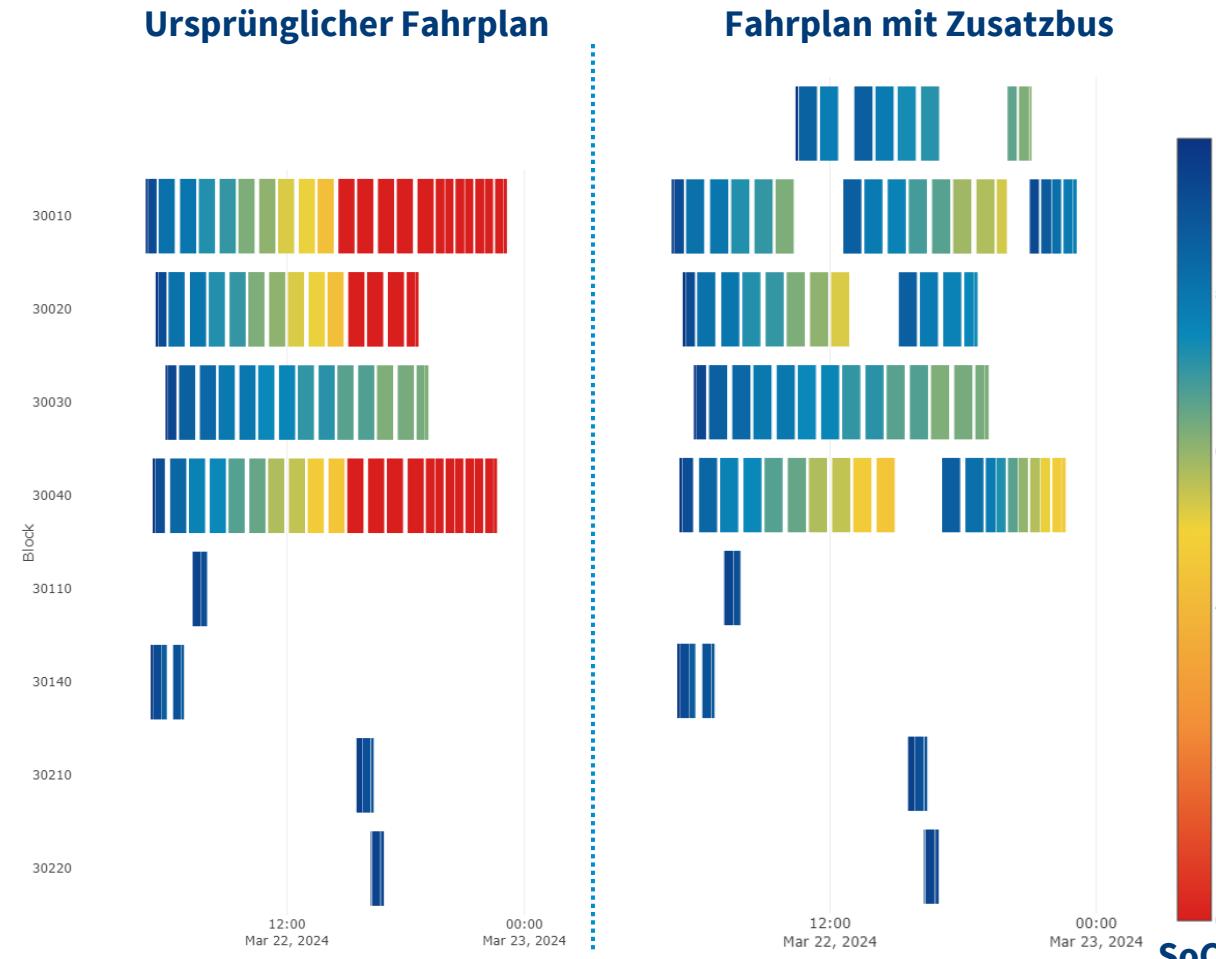
- › Linie ist **nur mit Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › 8 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Lehrer Feld“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Donautal“
- › 0 Ladepunkte an EH „Stadtwerke“
- › Mögliche Lösung: Einsatz von einem Zusatzbus

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

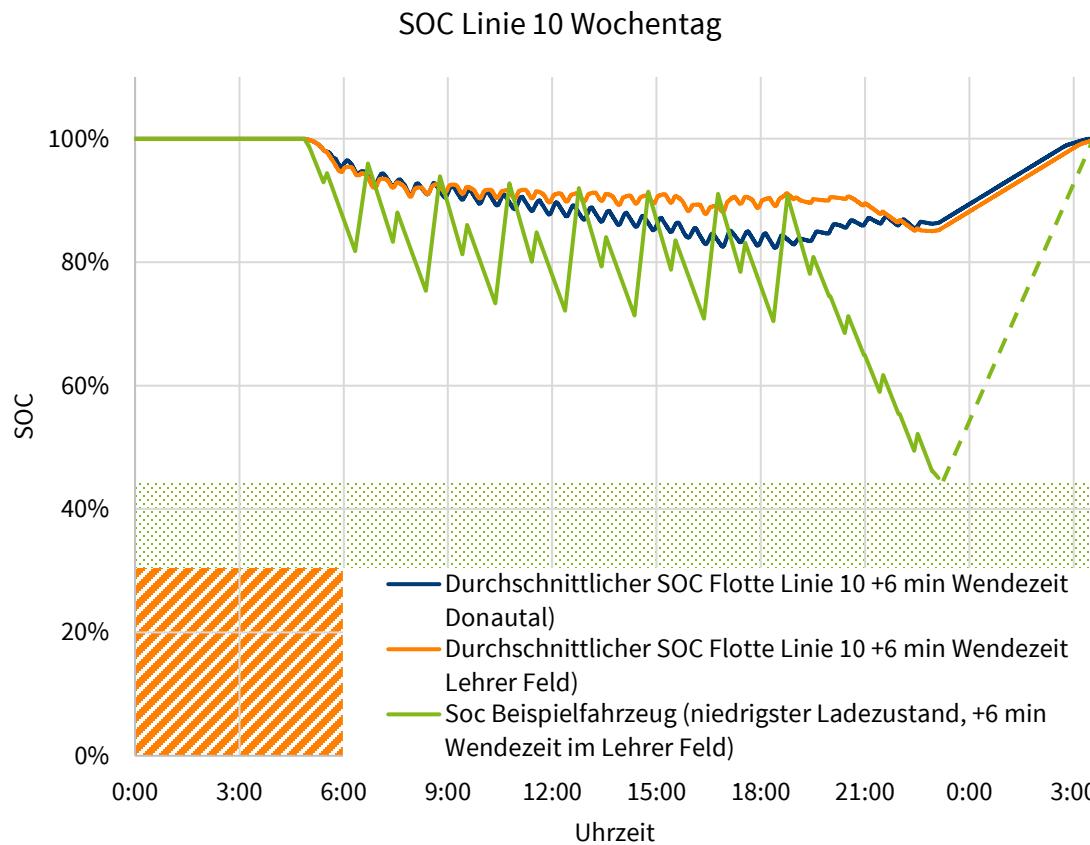
Linie 10 | Wochentag

EMCEL



Möglicher Lösungsvorschlag

- › Längere Wendeziten/Unterstützung durch einen Zusatzbus in fast allen langen Umläufen notwendig
- › Besonders an Endhaltestelle „Donautal“ kurze Wendeziten (~8 min)
- › Ein Zusatzbus eingesetzt in allen Umläufen ermöglicht Nachladezeit
 - › Beispielhafter Einsatz manuell simuliert
 - › Zusatzbus erhöht ggf. die Anzahl der Ladepunkte

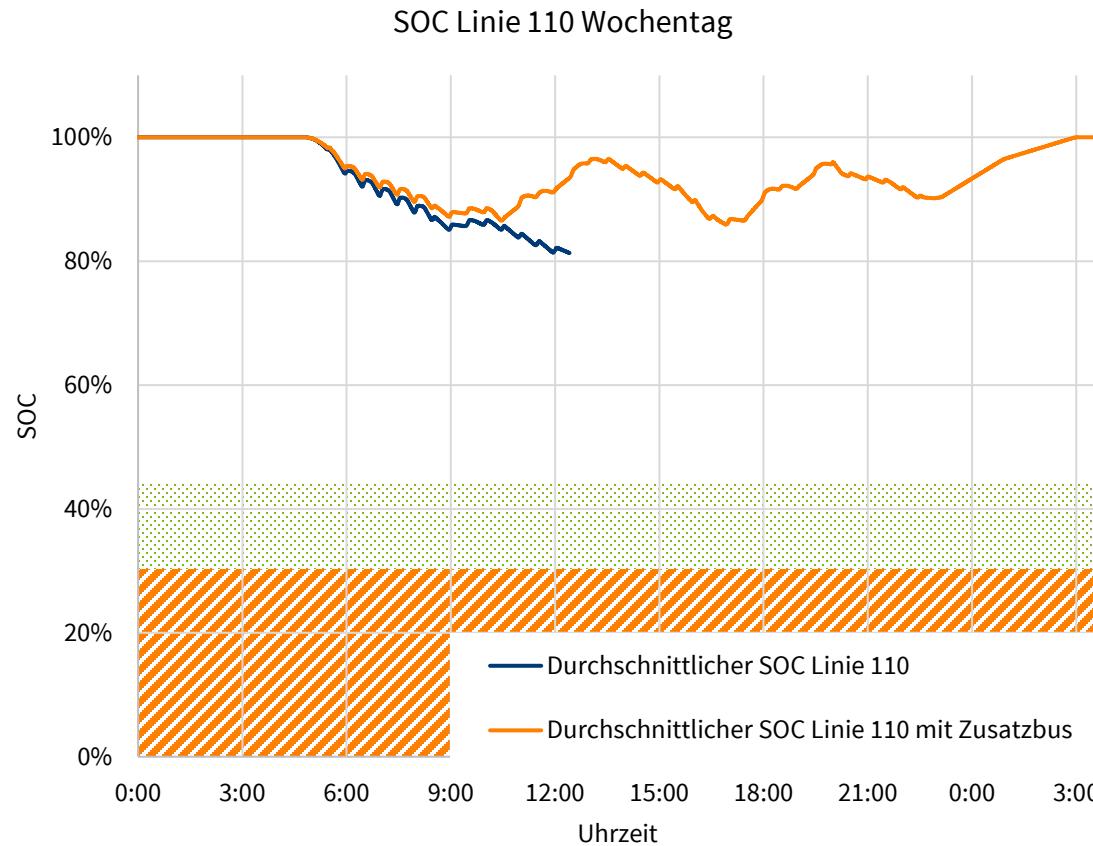


Möglicher Lösungsvorschlag

- › Verlängerung der Wendezzeit um 6 Minuten an EH „Lehrer Feld“ oder „Donautal“ ermöglicht ausreichendes Nachladen
- › Größere Wendezzeit insbesondere ab 19 Uhr erforderlich

EH = Endhaltestelle

Linie 110 | Wochentag



Linienanalyse

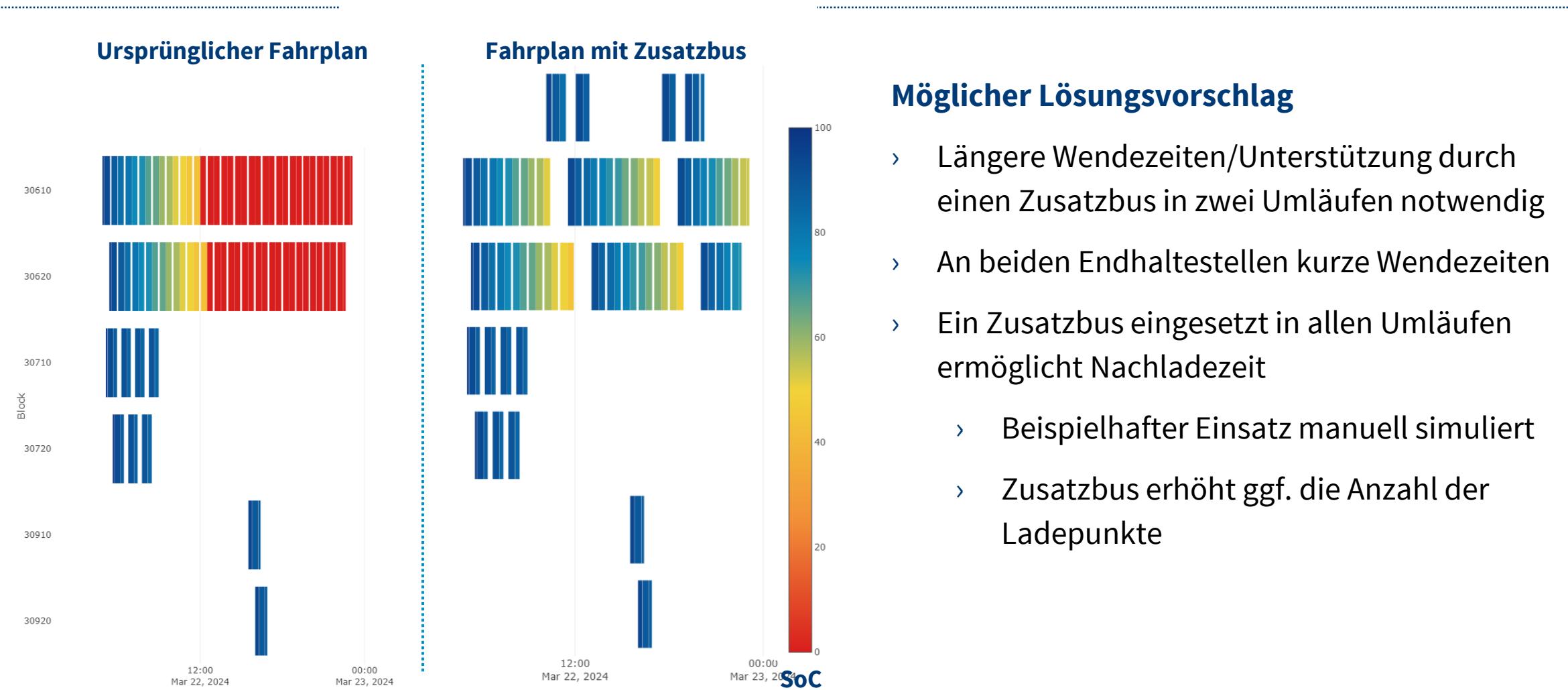
- › Linie ist **nur mit Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › 6 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 0 Ladepunkte an EH „Lehrer Feld“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Donautal“
- › 1 Ladepunkte an EH „Stadtwerke“
- › Mögliche Lösung: Einsatz von einem Zusatzbus

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

Linie 110 | Wochentag

EMCEL

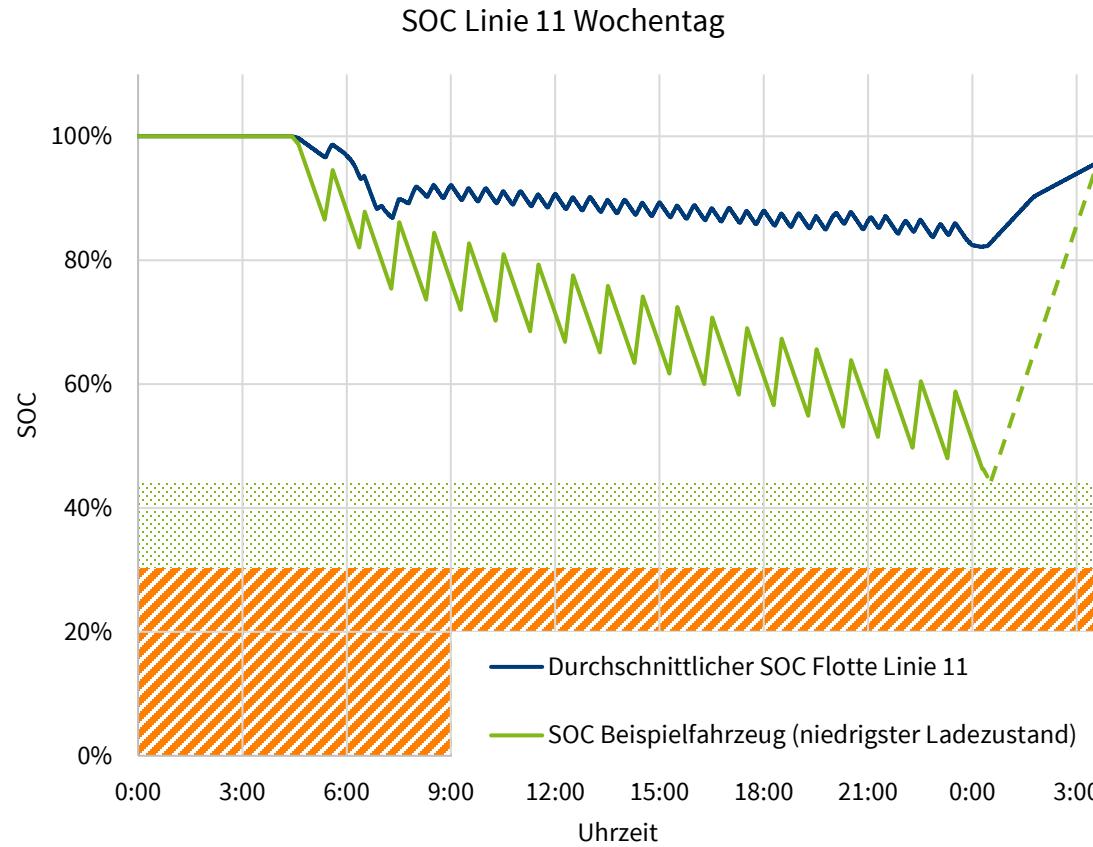


Möglicher Lösungsvorschlag

- › Längere Wendeziten/Unterstützung durch einen Zusatzbus in zwei Umläufen notwendig
- › An beiden Endhaltestellen kurze Wendeziten
- › Ein Zusatzbus eingesetzt in allen Umläufen ermöglicht Nachladezeit
 - › Beispielhafter Einsatz manuell simuliert
 - › Zusatzbus erhöht ggf. die Anzahl der Ladepunkte

Linie 11

Linie 11 | Wochentag

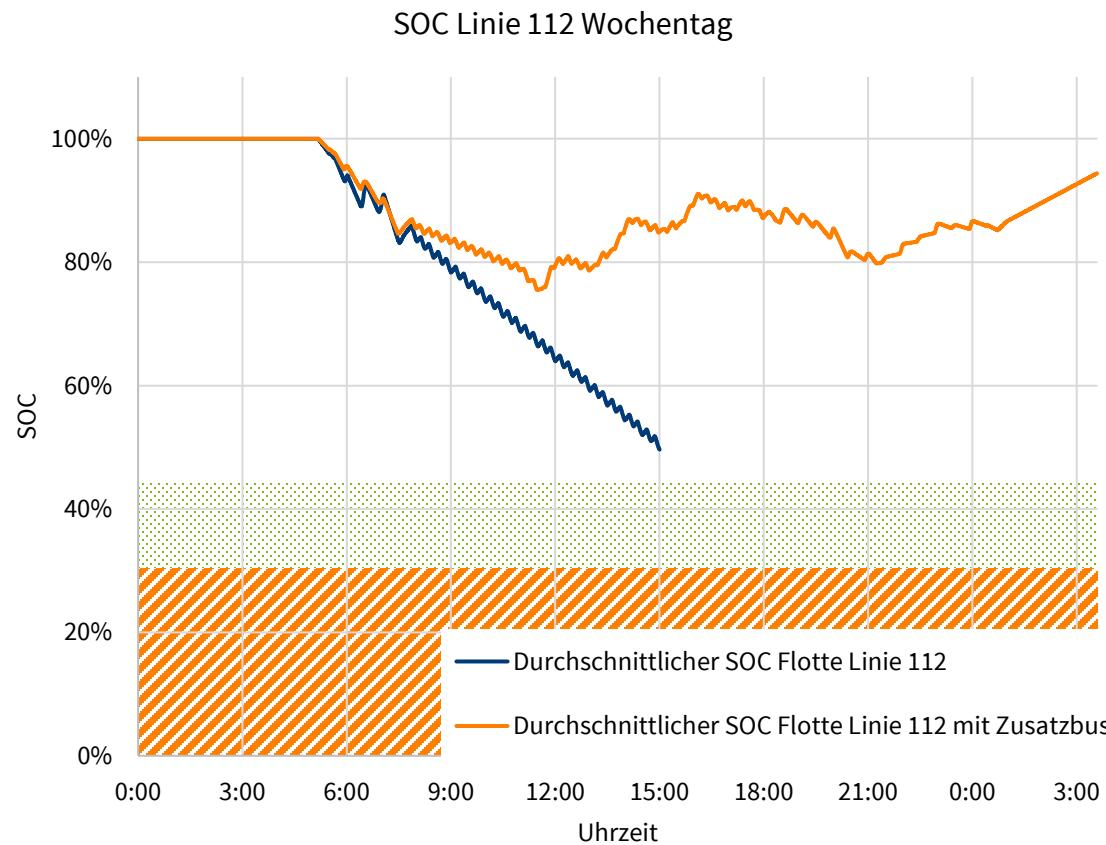


Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 45,1 %
- › 4 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „ZOB“

EH = Endhaltestelle

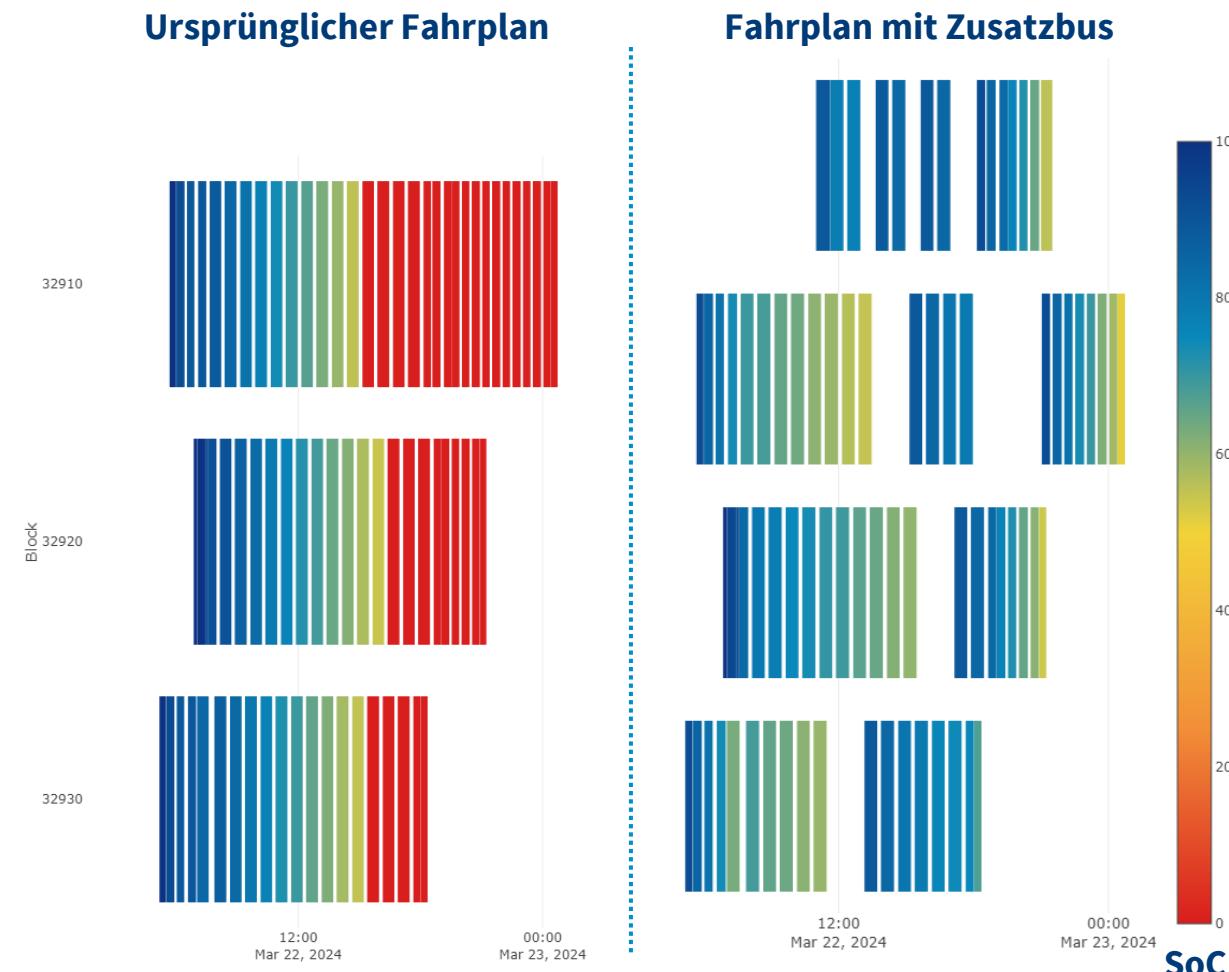
Linie 12



Linienanalyse

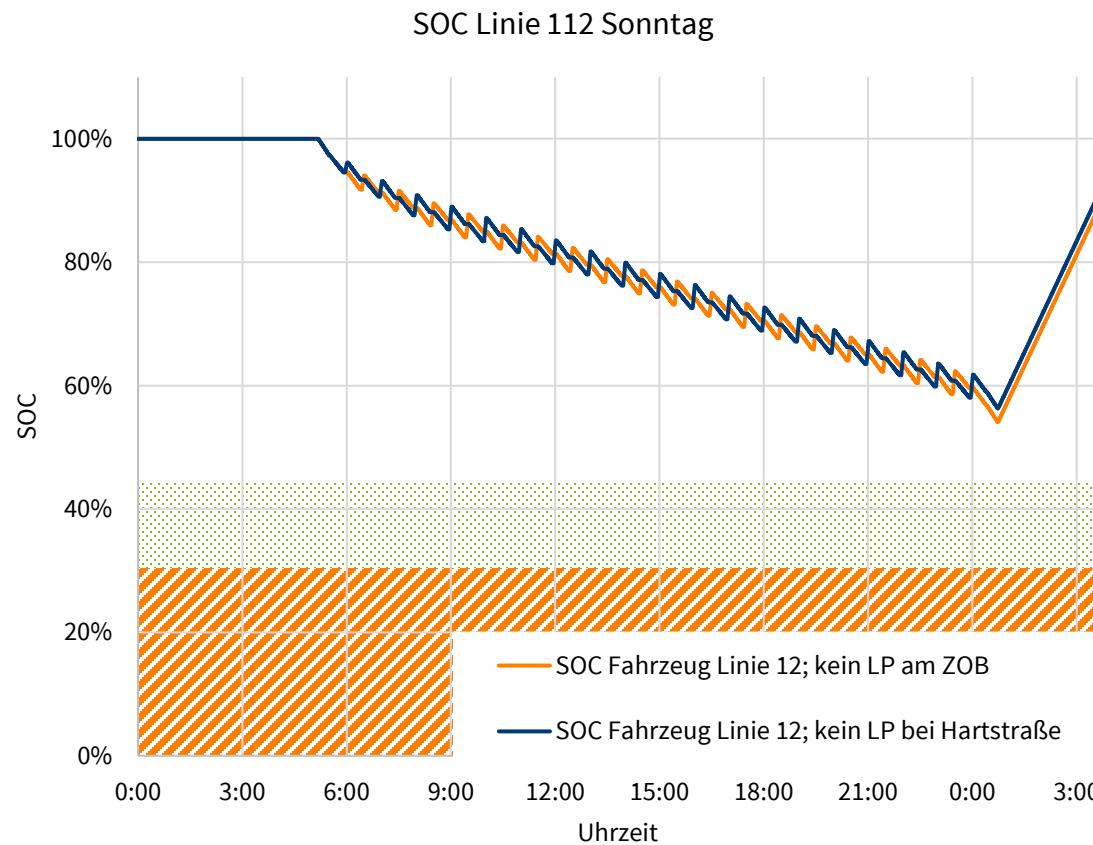
- › Linie ist **nur mit Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › 3 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Wiblingen Schulzentrum“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „ZOB“
- › 0 Ladepunkte an EH „Hartstraße“
- › Mögliche Lösung: Einsatz von einem Zusatzbus

EH = Endhaltestelle



Möglicher Lösungsvorschlag

- › Längere Wendzeiten/Unterstützung durch einen Zusatzbus in beiden Umläufen notwendig
- › Ein Zusatzbus eingesetzt in allen Umläufen ermöglicht Nachladezeit
 - › Beispielhafter Einsatz manuell simuliert
 - › Zusatzbus erhöht die Anzahl der Ladepunkte



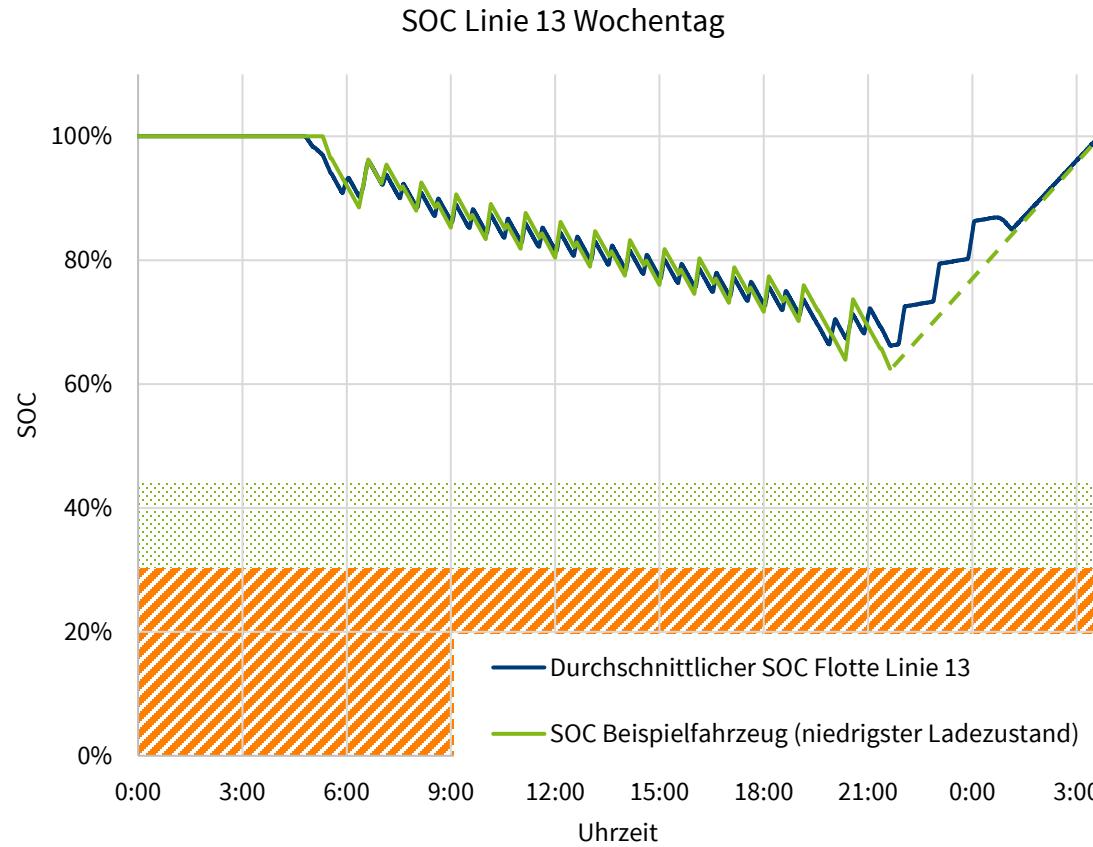
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 56,3 %
- › 0 Ladepunkte an EH „Wiblingen Schulzentrum“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „ZOB“ **oder**
- › 1 Ladepunkte an EH „Hartstraße“

EH = Endhaltestelle

Linie 13

Linie 13 | Wochentag

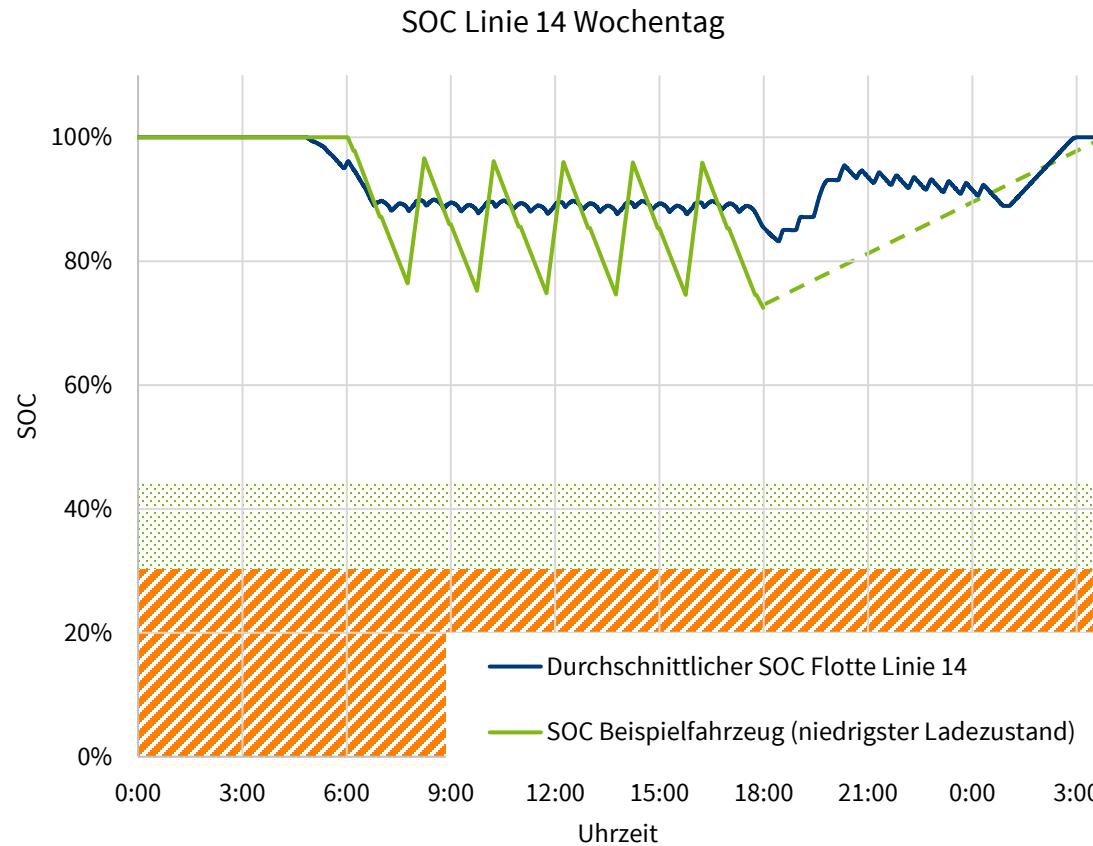


Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 62,5 %
- › 2 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Mähringen“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Jungingen“

EH = Endhaltestelle

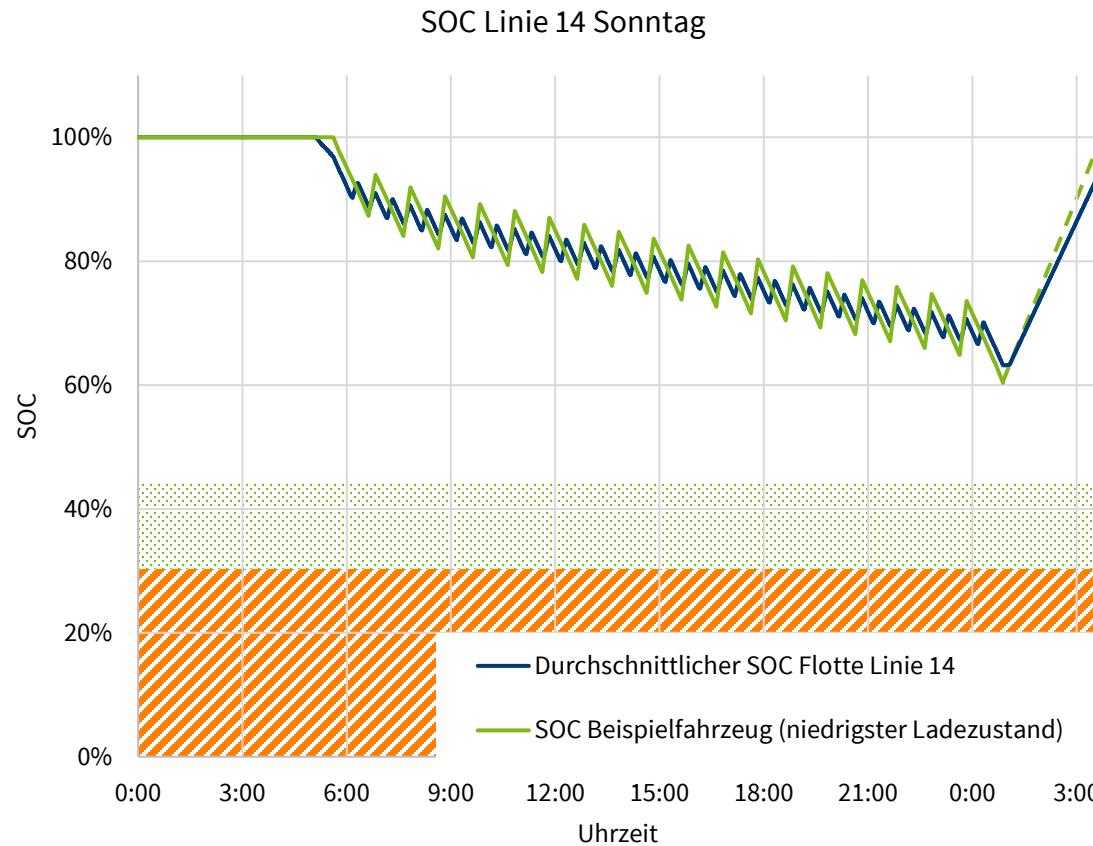
Linie 14



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 72,5 %
- › 4 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Donaustadion“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Friedhof Wiblingen“*
- › 0 Ladepunkte an EH „Kuhberg“

*Vsl. Kann einer der beiden Ladepunkte der Linie 4 mit genutzt werden; EH = Endhaltestelle

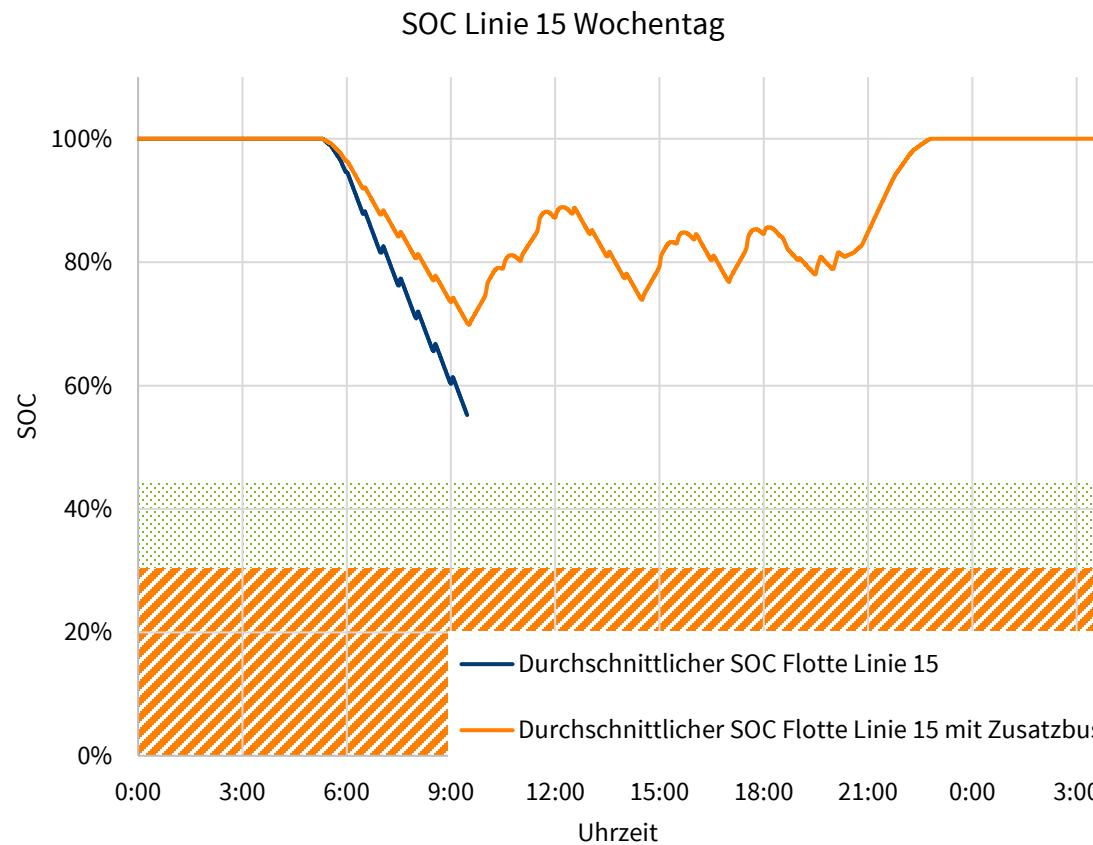


Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 60,4 %
- › 0 Ladepunkt an EH „Donaustadion“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Friedhof Wiblingen“*
- › 0 Ladepunkte an EH „Kuhberg“

*Vsl. Kann einer der beiden Ladepunkte der Linie 4 mit genutzt werden; EH = Endhaltestelle

Linie 15



Linienanalyse

- › Linie ist **nur mit Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › 2 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Willy-Brandt-Platz“
- › 0 Ladepunkt an EH „Science Park III“
- › Mögliche Lösung: Einsatz von einem Zusatzbus

EH = Endhaltestelle

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

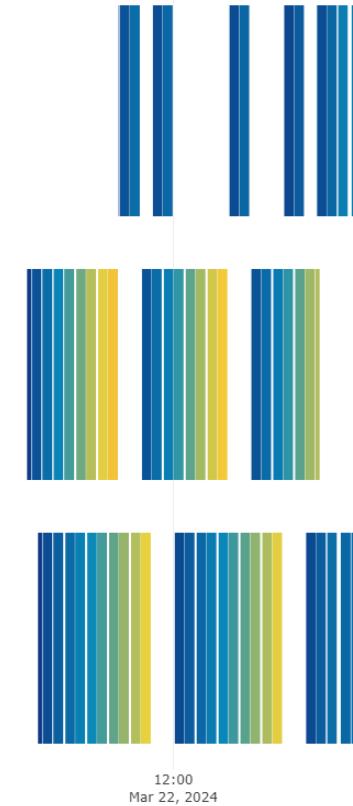
Linie 15 | Wochentag

EMCEL

Ursprünglicher Fahrplan



Fahrplan mit Zusatzbus

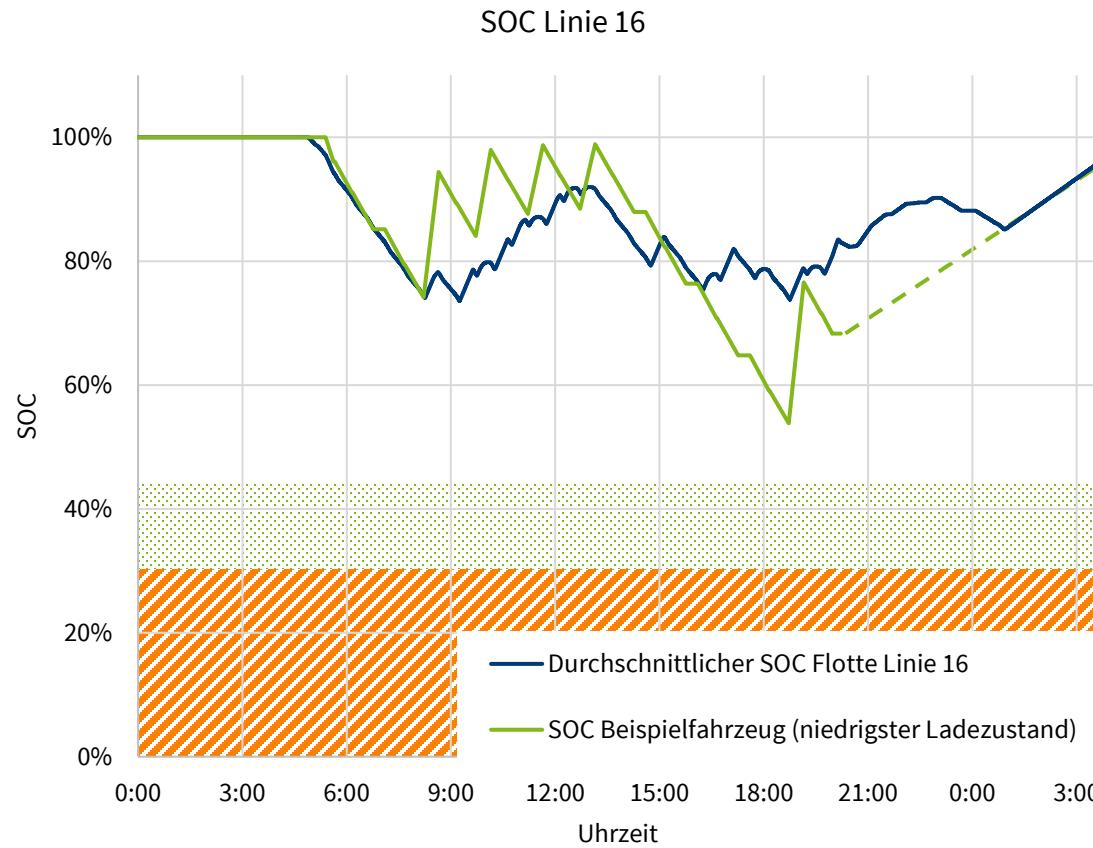


Möglicher Lösungsvorschlag

- › Längere Wendeziten/Unterstützung durch einen Zusatzbus in beiden Umläufen notwendig
- › Besonders an EH „Science Park III“ kurze Wendeziten (~1 min)
- › Ein Zusatzbus eingesetzt in allen Umläufen ermöglicht Nachladezeit
 - › Beispielhafter Einsatz manuell simuliert
 - › Zusatzbus erhöht ggf. die Anzahl der Ladepunkte

EH = Endhaltestelle

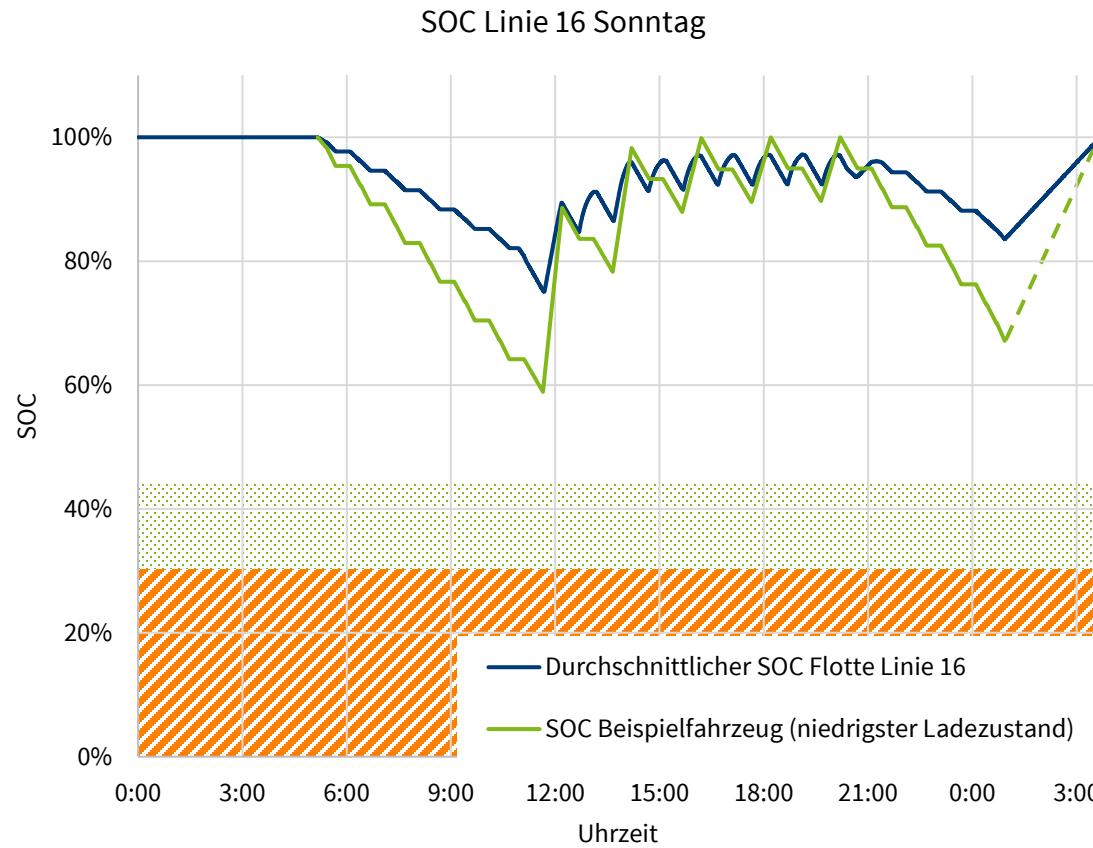
Linie 16



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 53,8 %
- › 3 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Seehalle“
- › 0 Ladepunkte an EH „Steinhäule“
- › 0 Ladepunkte an EH „Schwaighofen“
- › 0 Ladepunkte an EH „Bahnhof Neu-Ulm“

EH = Endhaltestelle



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 58,9 %
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Seehalle“
- › 0 Ladepunkte an EH „Steinhäule“
- › 0 Ladepunkte an EH „Schwaighofen“
- › 0 Ladepunkte an EH „Bahnhof Neu-Ulm“

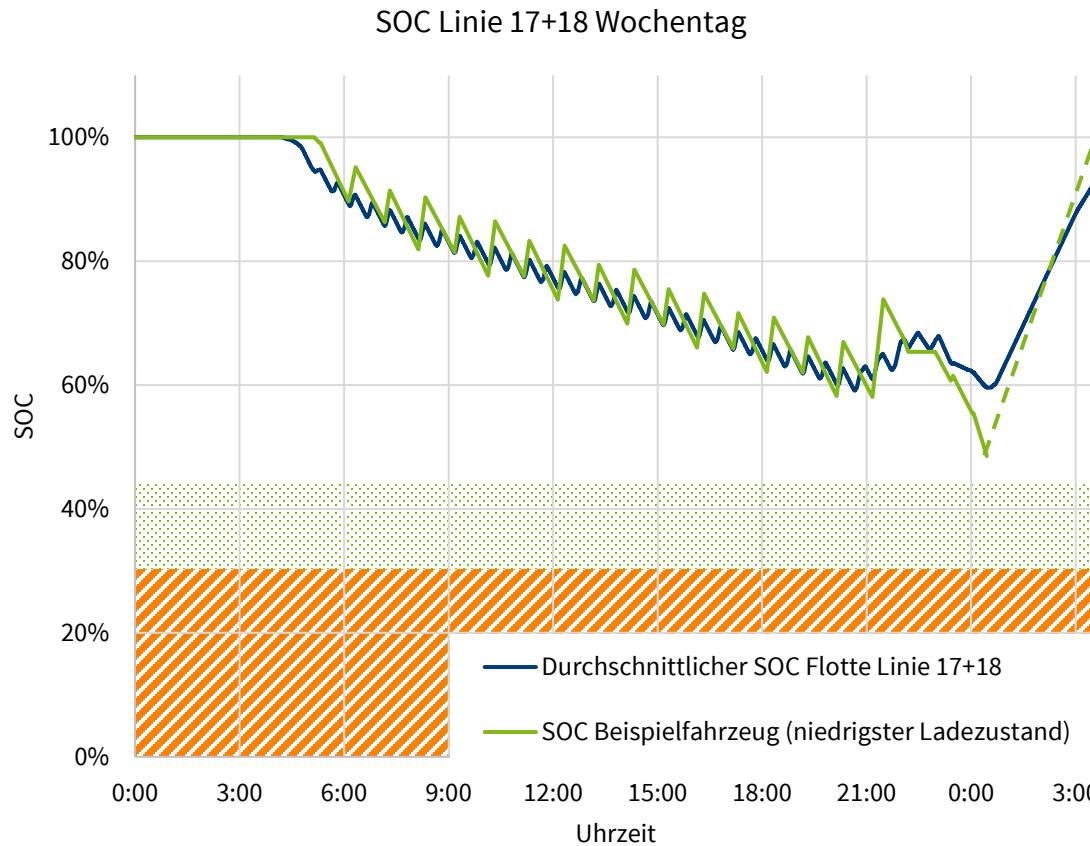
EH = Endhaltestelle

Linie 17+18

Anhang: Ergebnisse der detaillierten Linienanalyse (inkl. Wochenende)

Linie 17+18 | Wochentag

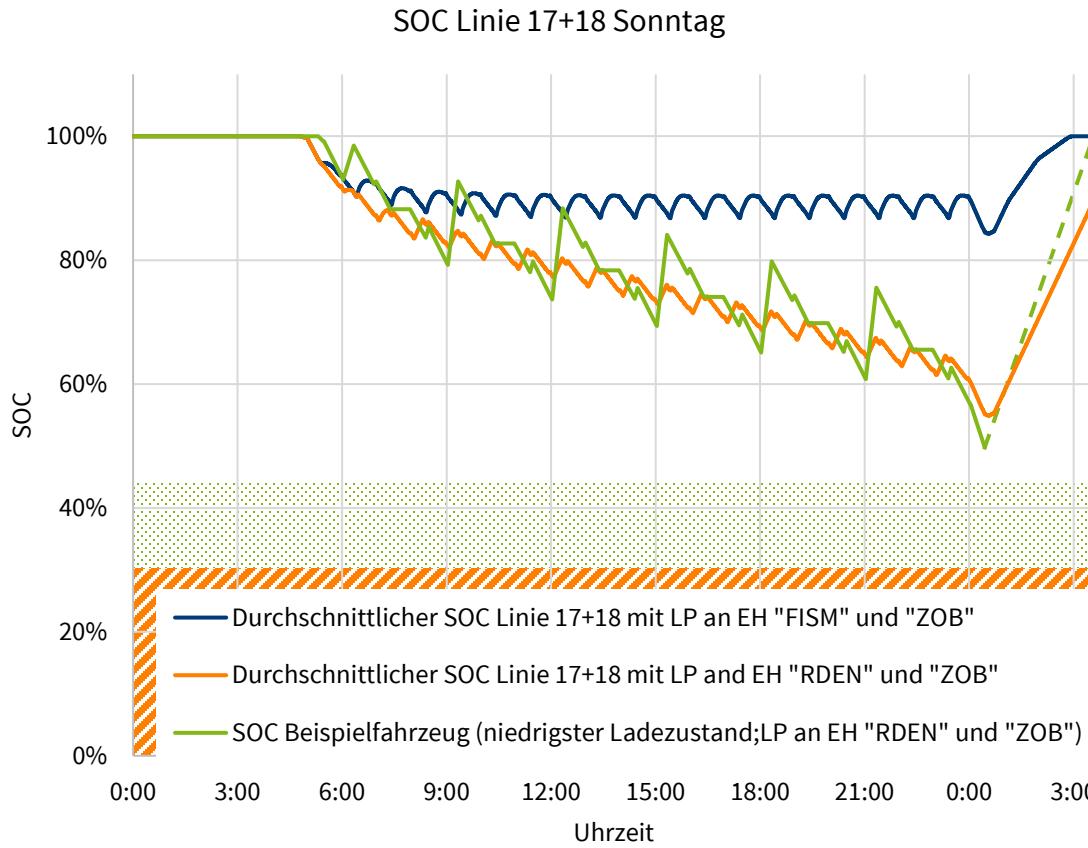
EMCEL



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 48,5 %
- › 4 Ladepunkte (je 60 kW) im Depot
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Senden“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „ZOB“

EH = Endhaltestelle

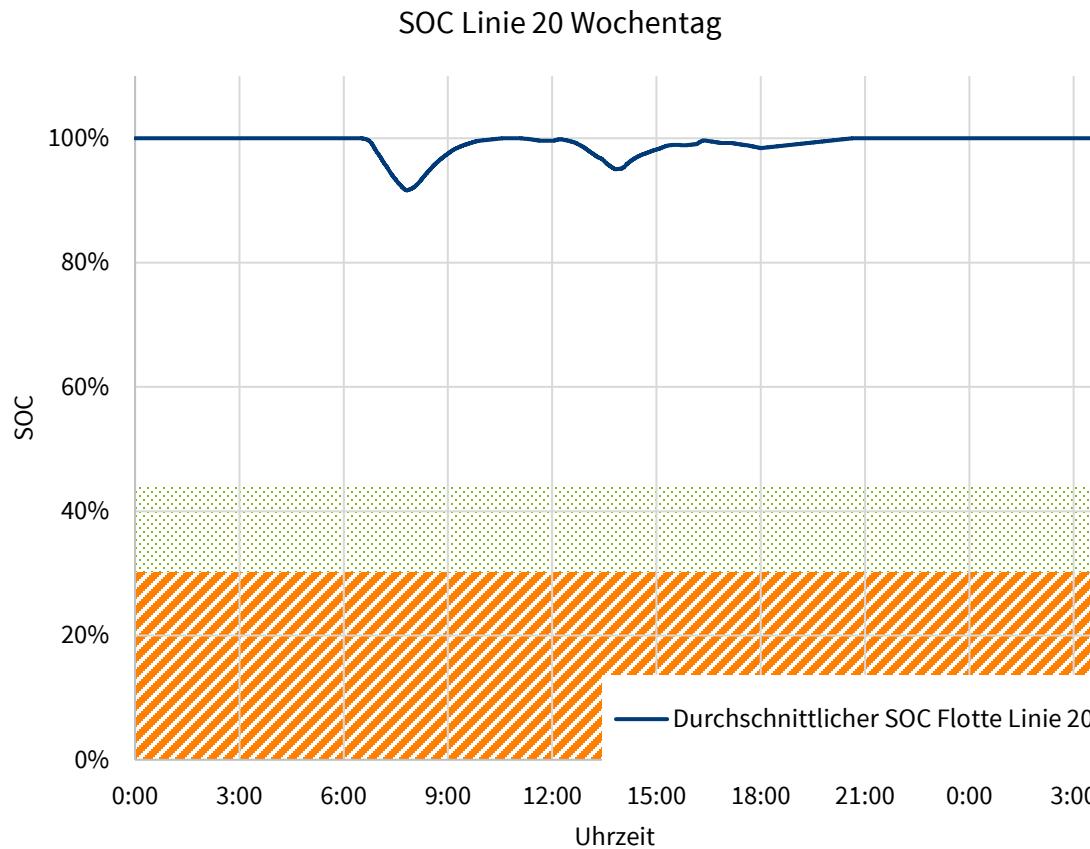


Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 48,5 %
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „ZOB“
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Holzschwang“ **oder**
- › 1 Ladepunkt (300 kW) an EH „Finningen“

EH = Endhaltestelle

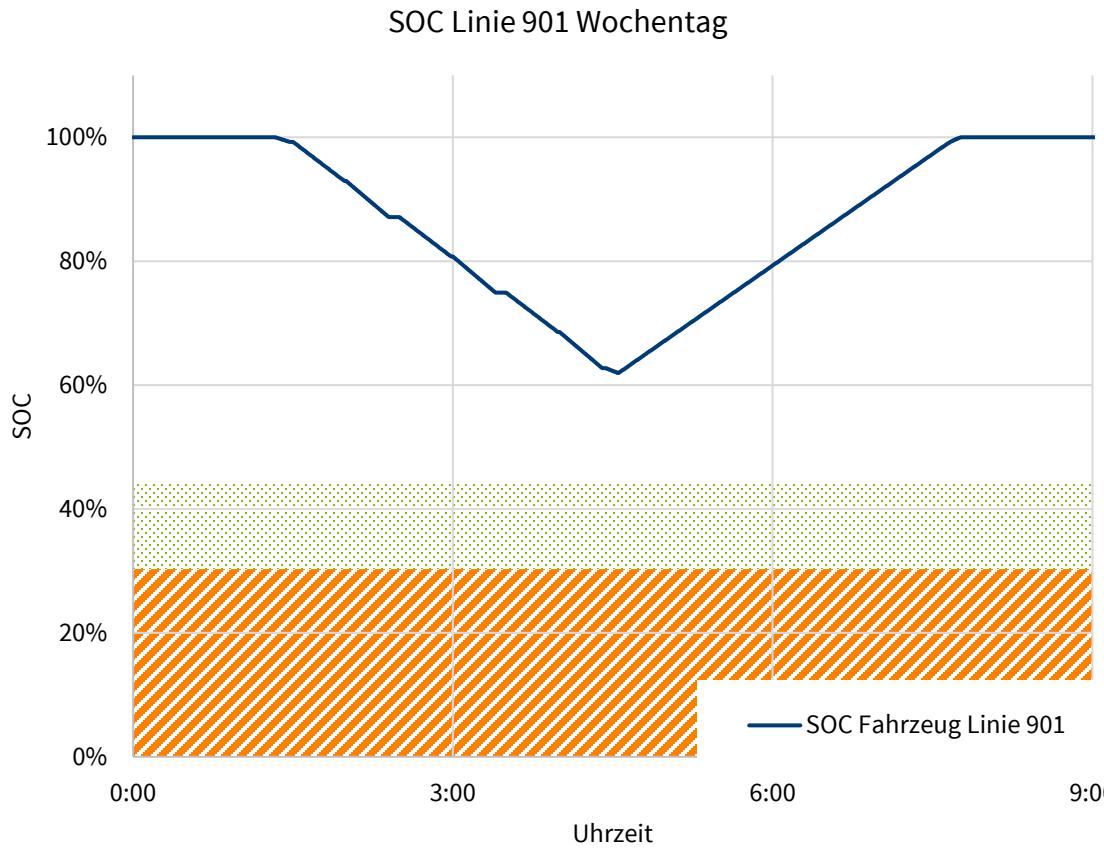
Linie 20



Linienanalyse

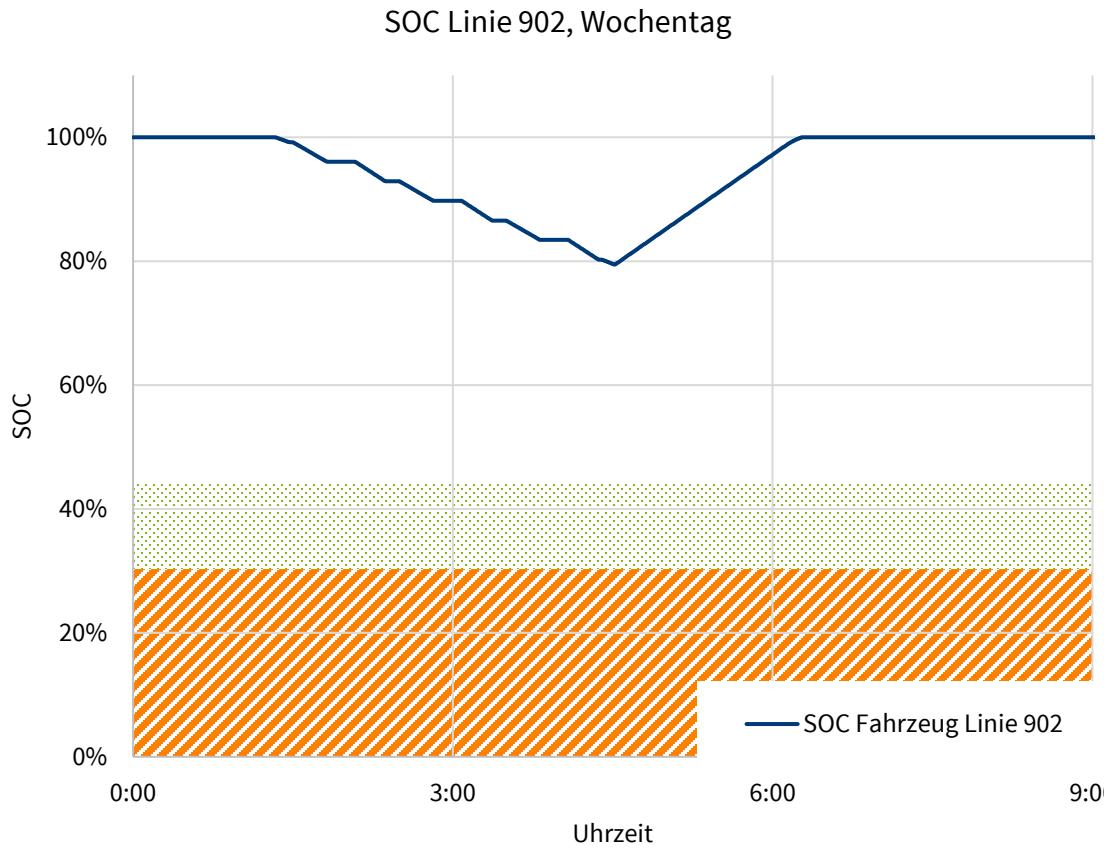
- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 68,4 %
- › 20 Ladepunkte im Depot
- › Keine Ladepunkte auf der Strecke notwendig

Linie 901 bis 909



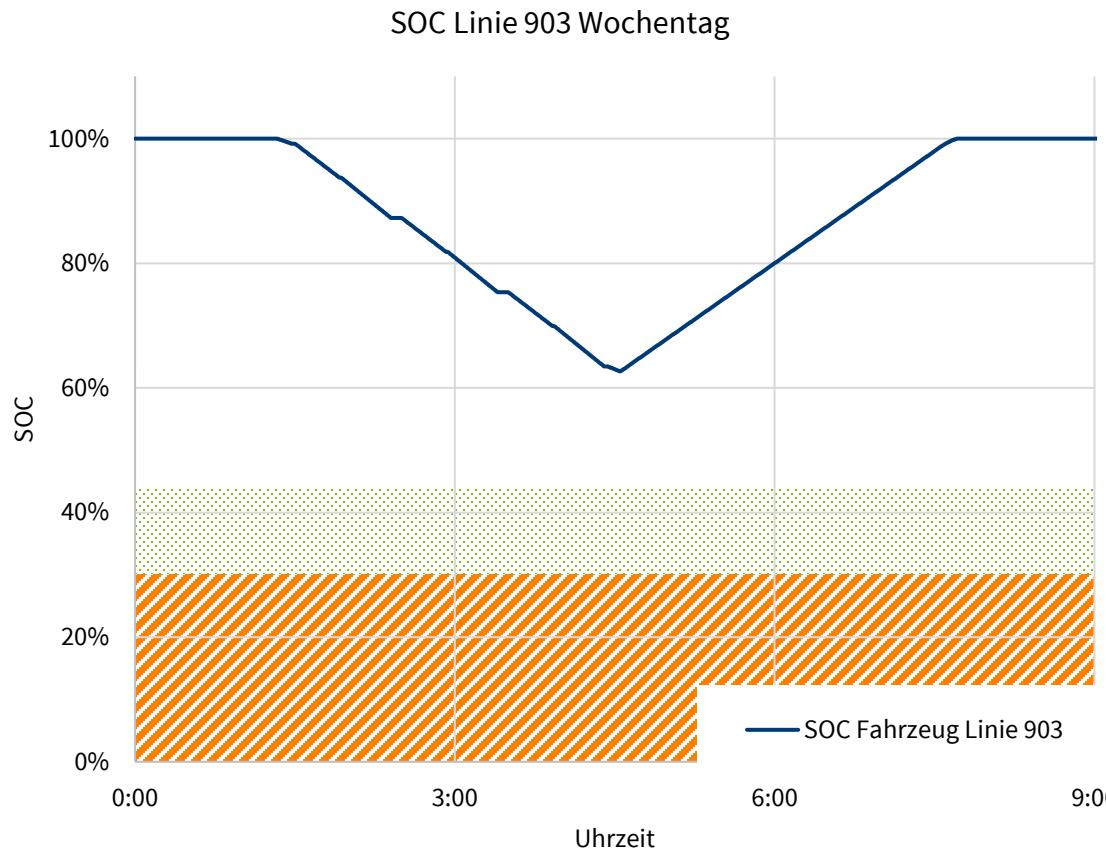
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 61,9 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



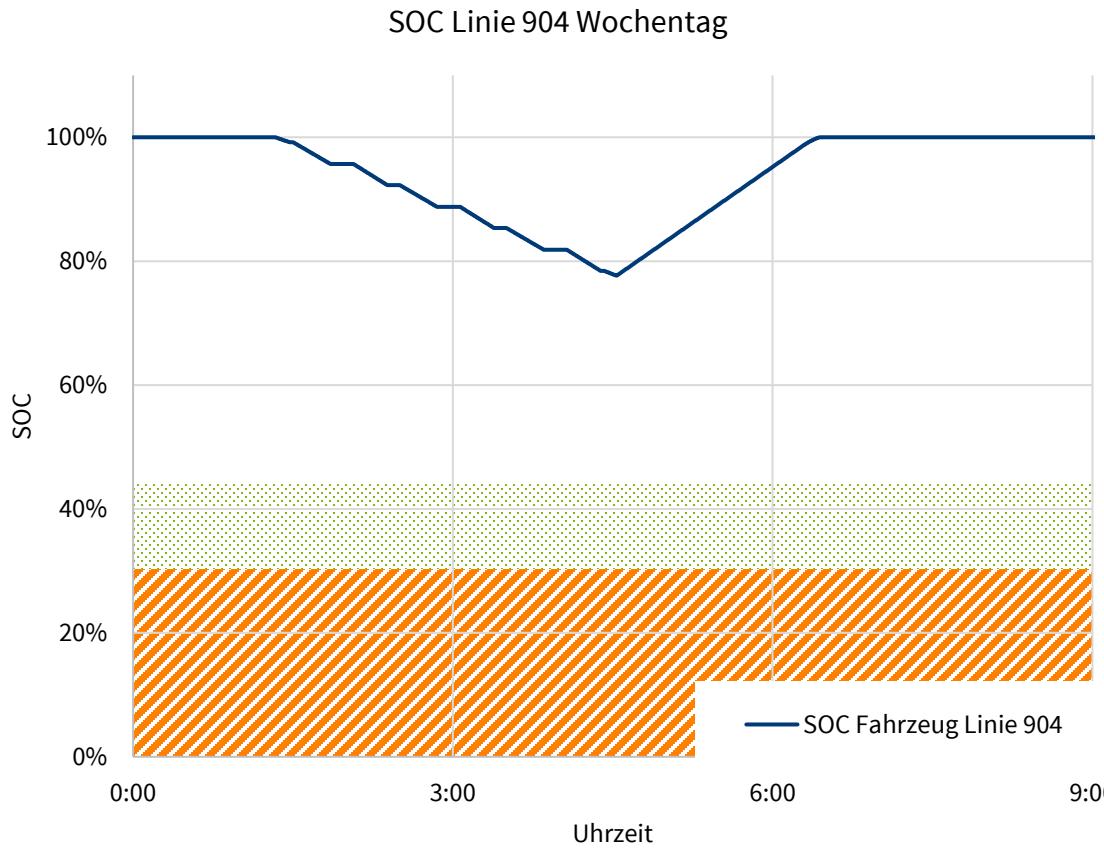
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 79,4 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



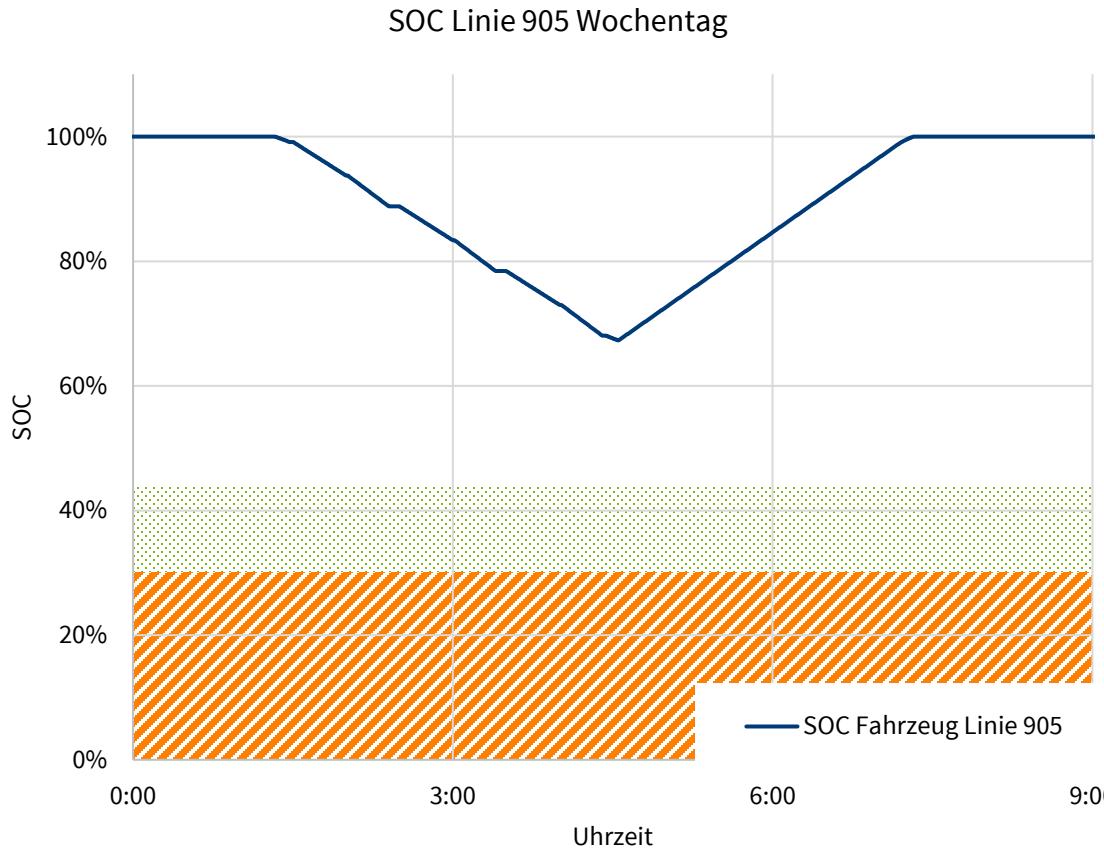
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 62,7 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



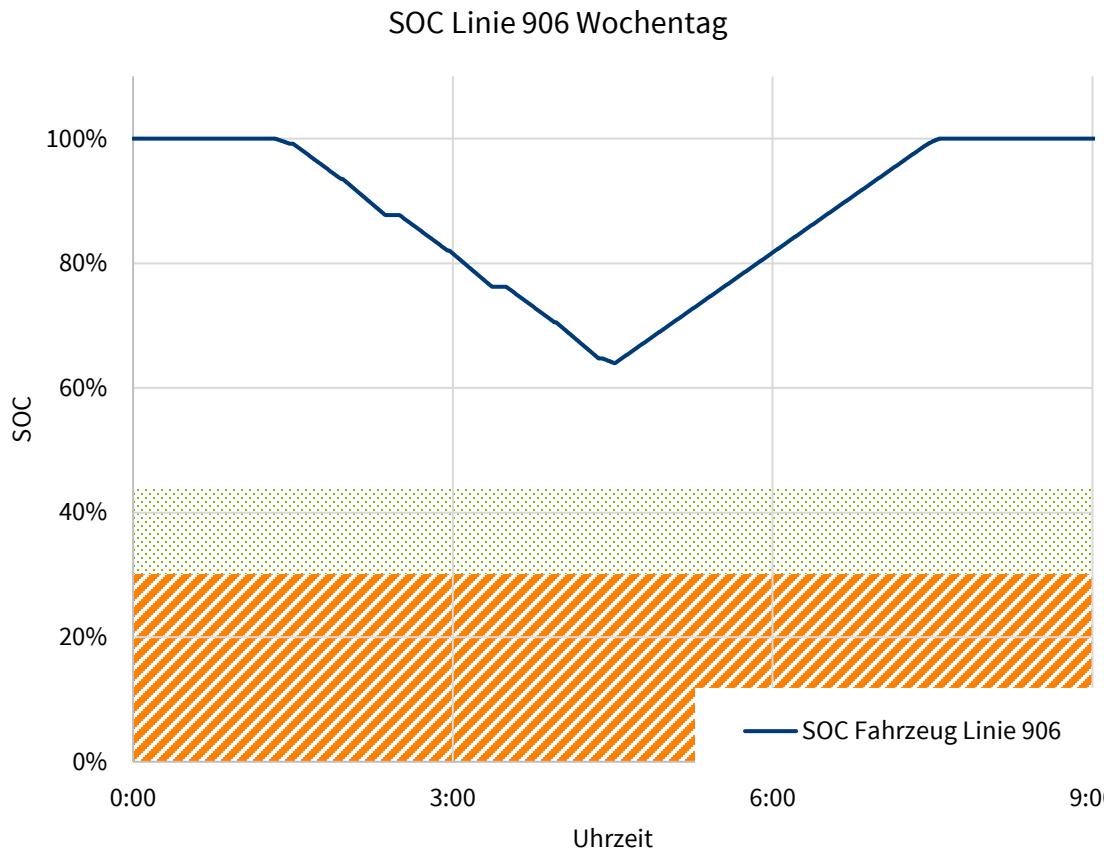
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 77,7 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



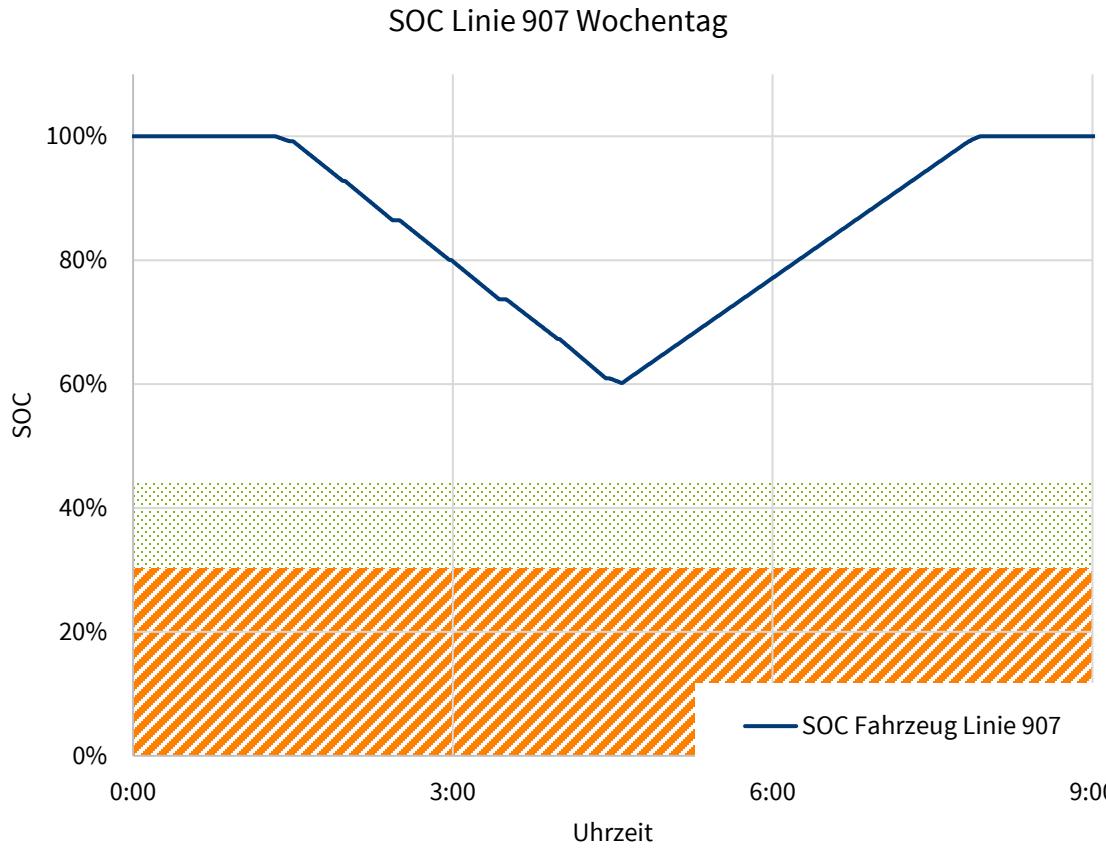
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 67,3 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



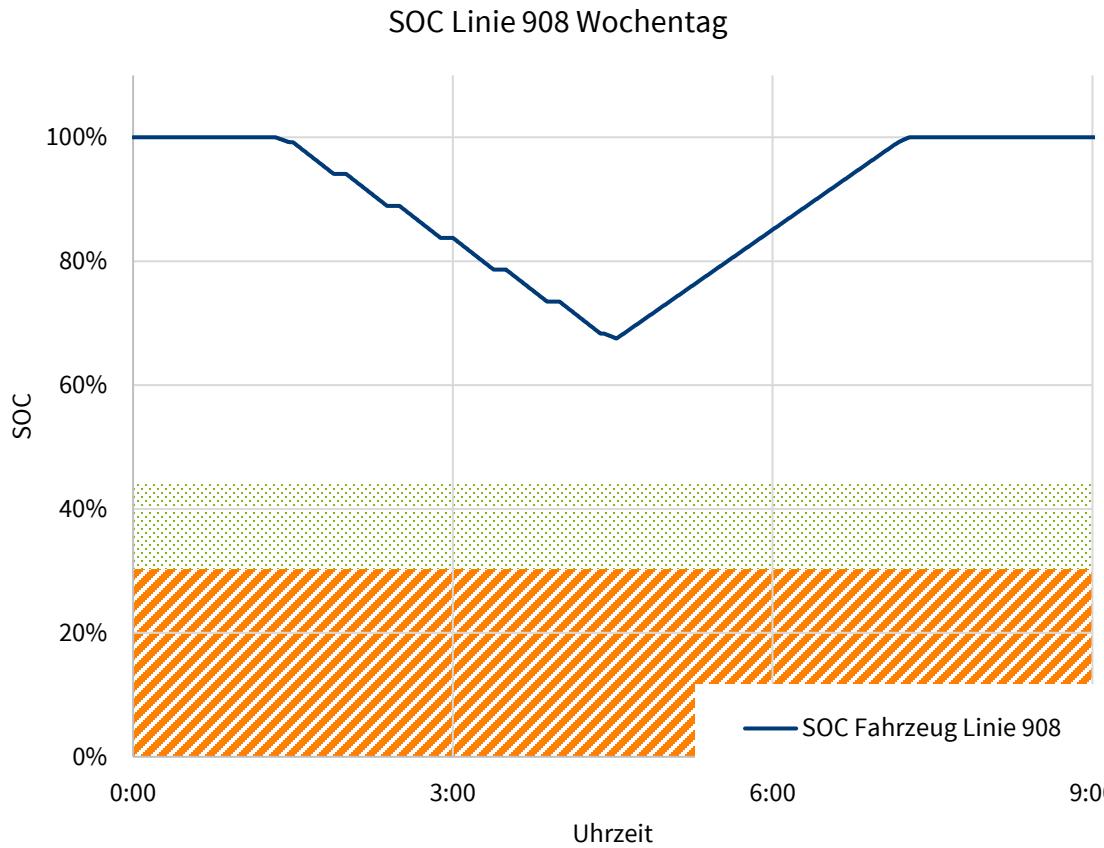
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 64,0 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



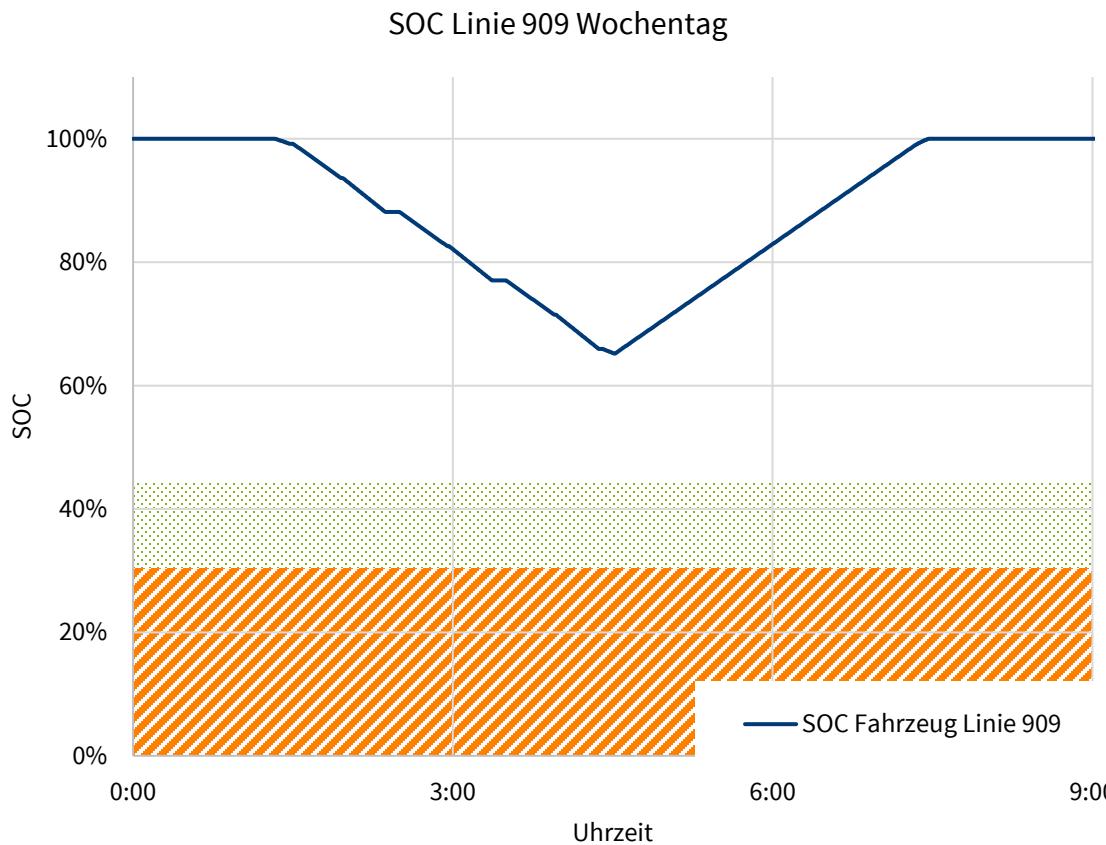
Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 60,2%
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 67,5%
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig



Linienanalyse

- › Linie ist **ohne Anpassungen** geeignet für Gelegenheitsladung
- › Niedrigster SOC Fahrzeug: 65,2 %
- › 1 Ladepunkt (60 kW) im Depot
- › Keine LP auf der Strecke notwendig