

# Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen

## Workshop 3 – Busse

Abschlussworkshop am Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Moritz Mottschall  
Öko-Institut e.V.

Gefördert durch:



Berlin, 18.02.2015

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Agenda

- 1** Einführung  
*Wo steht Elektromobilität im Bereich der Linienbusse*
- 2** Methodik und Eingangsgrößen  
*Überblick und wichtigste Parameter*
- 3** Ergebnisse  
*Gesamtkosten, ökonomische Potenziale und CO<sub>2</sub>-Minderung*
- 4** Zusammenfassung und Ausblick

# Agenda

- 1** Einführung  
*Wo steht Elektromobilität im Bereich der Linienbusse*
- 2** Methodik und Eingangsgrößen  
*Überblick und wichtigste Parameter*
- 3** Ergebnisse  
*Gesamtkosten, ökonomische Potenziale und CO<sub>2</sub>-Minderung*
- 4** Zusammenfassung und Ausblick

# Aktueller Stand bei Linienbussen

- Lange Tradition von Elektrobussen; aktuell rund 100 Elektrobusse (Großteils Oberleitungsbusse) in Deutschland
- Fokus in den letzten Jahren auf Hybridbussen, Zwischenschritt zu vollelektrischen Bussen
- Aktuell werden in Deutschland bereits einige Elektrobusse eingesetzt bzw. getestet (bspw. in Osnabrück, Hamburg, Pinneberg). Der Einsatz ist darüber hinaus in vielen weiteren Städten geplant.
- Internationales Beispiel: Shenzhen (China ) 2013: E-Busbestand in 2013 3.050, in den letzten Jahren Fokus Hybridbusse; Ziel 2015: 5.000 E-Busse

# Vorteile von Elektrobussen

- Niedriger Endenergieverbrauch durch hohen Wirkungsgrad und Rekuperation
- Geringe Treibhausgasemissionen, Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen möglich
- Niedrigere Betriebskosten
- Lokal emissionsfrei
- Geringere Lärmbelastung
- Fahrzeugeigenschaften (Batteriegröße etc.) an konkreten Einsatzzweck anpassbar
- Langfristig ggf. Anpassung an die Linienführung möglich

# Herausforderungen von Elektrobussen

- Hohe Investitionskosten der Elektrobusse
- Weniger flexibel einsetzbar aufgrund von Reichweitenrestriktionen, je nach Ladekonzept ggf. an eine konkrete Linie gebunden
- Anpassungen bei den Betriebsabläufen zur Integration in den Fuhrpark
- Schwankungen des Energieverbrauchs durch höhere Auslastung und HVAC können die Reichweite weiter reduzieren
- Störungen wie Umleitungen oder Staus machen ggf. Reserven für die Reichweite notwendig
- Teilweise verringerte Fahrgastkapazität

# Verschiedene Ladekonzepte

- Overnight charging Busse (ON)
  - große Batterien, Reichweite für den gesamten Tag, Ladung bei längeren Standzeiten
- Opportunity charging Busse (OC)
  - kleinere Batterie, Zwischenladung über den Tag verteilt, bspw. an den Endhaltestellen
  - Die Ladung kann konduktiv (manuell über ein Ladekabel, automatisiert z.B. über einen Pantographen) oder induktiv erfolgen.

# Agenda

- 1** Einführung  
*Wo steht Elektromobilität im Bereich der Linienbusse*
- 2** Methodik und Eingangsgrößen  
*Überblick und wichtigste Parameter*
- 3** Ergebnisse  
*Gesamtkosten, ökonomische Potenziale und CO<sub>2</sub>-Minderung*
- 4** Zusammenfassung und Ausblick

# Methodik



# Szenarioannahmen

	Optimistisches Szenario	Pessimistisches Szenario
Batteriepreis	- 10%	+ 10%
Strompreis	- 10%	+ 10%
Benzin- / Dieselpreis	+ 10%	- 10%

		Optimistisches Szenario	Mittleres Szenario	Pessimistisches Szenario
2014	Batteriepreis [€/kWh]	900	1.000	1.100
	Strompreis [ct/kWh]	12,6		
	Dieselpreis [€/l]	1,03		
2020	Batteriepreis [€/kWh]	630	700	770
	Alternativer Batteriepreis [€/kWh]	378	420	462
	Strompreis [ct/kWh]	12,3	13,7	15,1
	Dieselpreis [€/l]	1,22	1,11	1,00

# Eingangsgrößen Fahrzeuge

## *Investitionskosten, Energieverbrauch und Nutzung*

Fahrzeugkategorie	Nettokaufpreis Dieselbus [€]		Dieselverbrauch [l/100 km]	Stromverbrauch [kWh/km]
	2014	2020		
Standardbus	240.000	242.197	44,9	1,6
Gelenkbus	330.000	333.021	58,9	2,1

Parameter	Ausprägung
Jahresfahrleistung	60.000 km
Haltedauer	12 Jahre
Fahrzyklus	leichter Stadtverkehr

# Eingangsgrößen Ladeinfrastruktur

## Investitionskosten

Kosten der Ladeinfrastruktur	Standardkosten [€]	Alternative Infrastrukturkosten [€]
Ladesäule 22kW	2.600	
Ladesäule 44kW	15.250	130.000
Schnelladestation Haltestelle	90.000	670.000

# Ökonomische Eingangsgrößen

Parameter	Ausprägung
Kalkulationszins	5 %
Abschreibungszeitraum	6 Jahre
Inflationsrate	1,7 %
Teuerung Linienbusse	1,9 %
Unternehmenssteuersatz	30 %

# Berücksichtigung der Batterielebensdauer

- Batteriewechsel notwendig, da Fahrzeuglebensdauer Lebensdauer der Batterien übersteigt
- Austausch nach 3.000 Ladezyklen, bezogen auf die nutzbare Kapazität (80 %)
- Kosten der Ersatzbatterien abhängig vom Jahr des Batterieaustausches
- Standardmäßig kein Restwert für ausgetauschte Batterie unterstellt
- Anteilige Berücksichtigung der letzten Austauschbatterie bezogen auf die genutzte Anzahl Ladezyklen

# Methodik der Potenzialabschätzung und der Berechnung der THG-Emissionen

## Abschätzung des ökonomischen Maximalpotenzials

- Herleitung des Bestands an Stadtbussen auf Basis der KBA-Zulassungszahlen, TREMOD 5.41 und der VDV-Statistik
- Annahmen zu Abschätzung der Neuzulassungen: konstanter Bestand, Nutzungsdauer 12 Jahre
- Das Potenzial stellt die akkumulierten Neuzulassungen ab dem Jahr der Kostenparität dar. Restriktionen im Einsatzprofil bleiben unberücksichtigt!

## Berechnung der Treibhausgasemissionen

- Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> und der Emissionen der Energiebereitstellung (ohne Bauvorleistung)
- Verwendete Emissionsfaktoren auf Basis des BMVI Leitfadens „*Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des ÖPNV*“ (Schmied und Mottschall 2014) bestimmt.

# Agenda

- 1** Einführung  
*Wo steht Elektromobilität im Bereich der Linienbusse*
- 2** Methodik und Eingangsgrößen  
*Überblick und wichtigste Parameter*
- 3** Ergebnisse  
*Gesamtkosten, ökonomische Potenziale und CO<sub>2</sub>-Minderung*
- 4** Zusammenfassung und Ausblick

# Ergebnisse

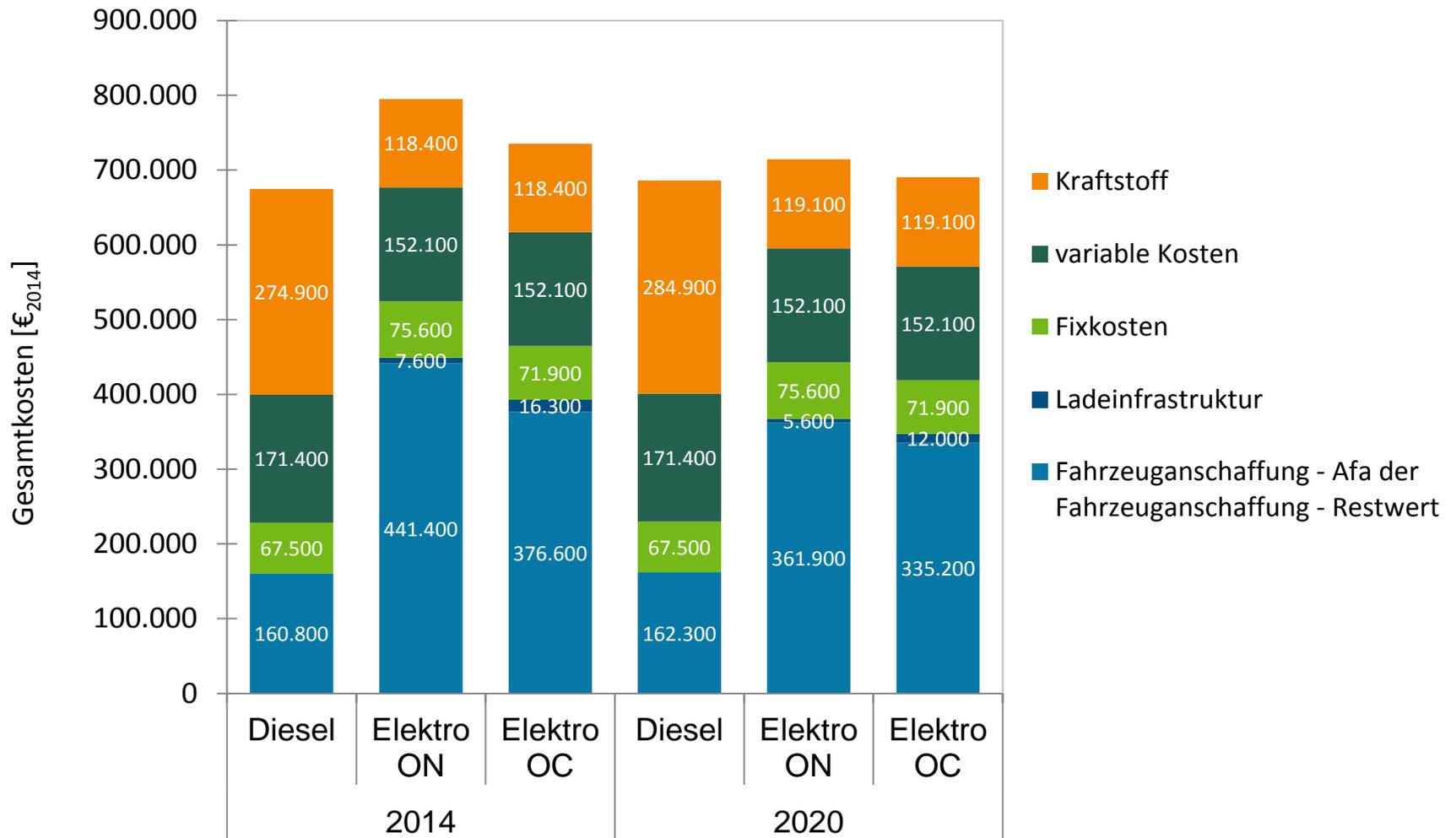
*Beispiel: 12 m-Standardbus*

# Standardparameter

## 12 m-Standardbus

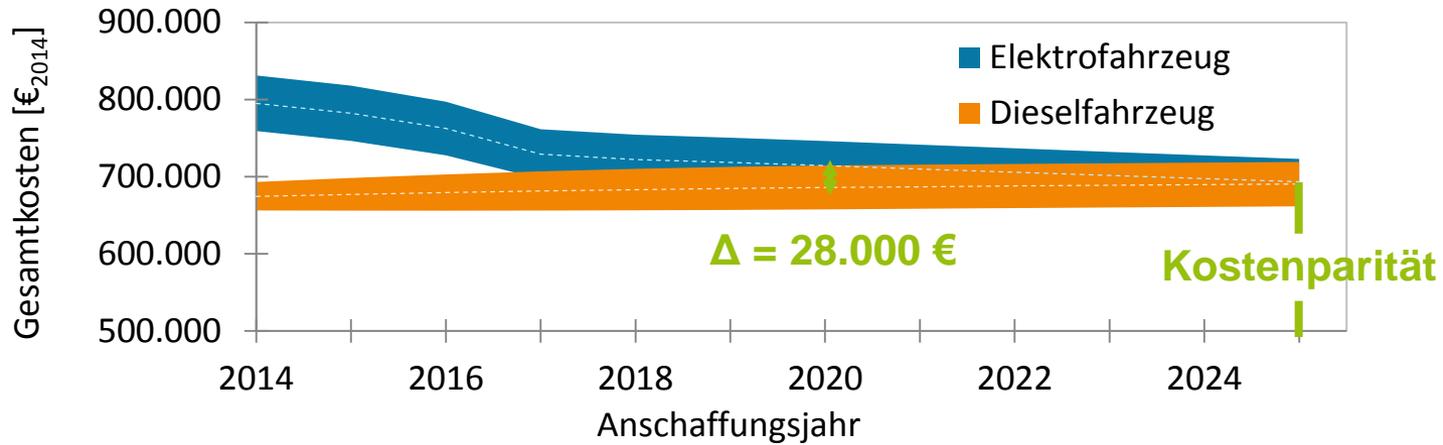
Parameter	Ausprägung
<b>„overnight-charging“- Bus (ON)</b>	
Ladeinfrastruktur	Ladesäule 44 kW
Ladeverhalten	nur auf dem Betriebshof
Reichweite	200 km
Nutzbare Batteriekapazität	315 kWh
<b>„opportunity-charging“- Bus (OC)</b>	
Ladeinfrastruktur	Ladesäule 22 kW & Schnellladestationen an den Endhaltestellen
Ladeverhalten	auf dem Betriebshof und an den Endhaltestellen
Reichweite	50 km
Nutzbare Batteriekapazität	80 kWh

# Gesamtkostenvergleich 12 m-Standardbus (mittleres Szenario)

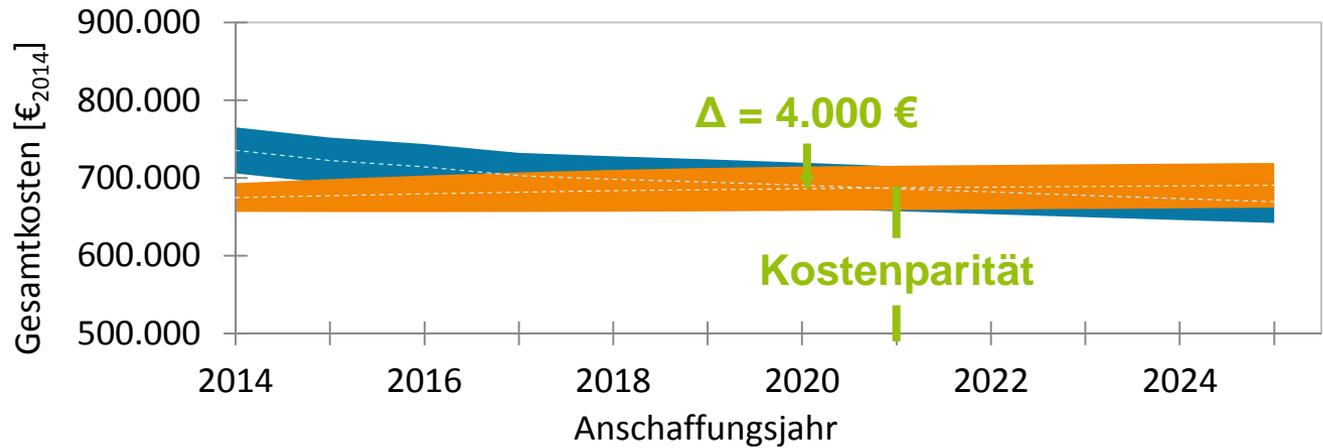


# Gesamtkosten eines 12 m-Standardlinienbus nach Anschaffungsjahr (Haltedauer 12 Jahre, Fahrleistung 60.000 km/a)

„Overnight Charging“

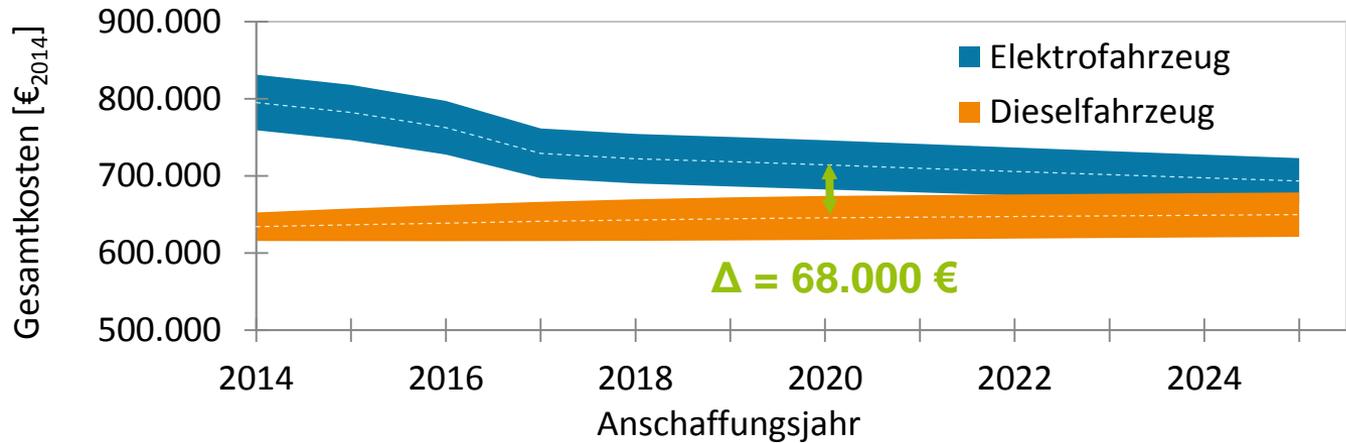


„Opportunity Charging“

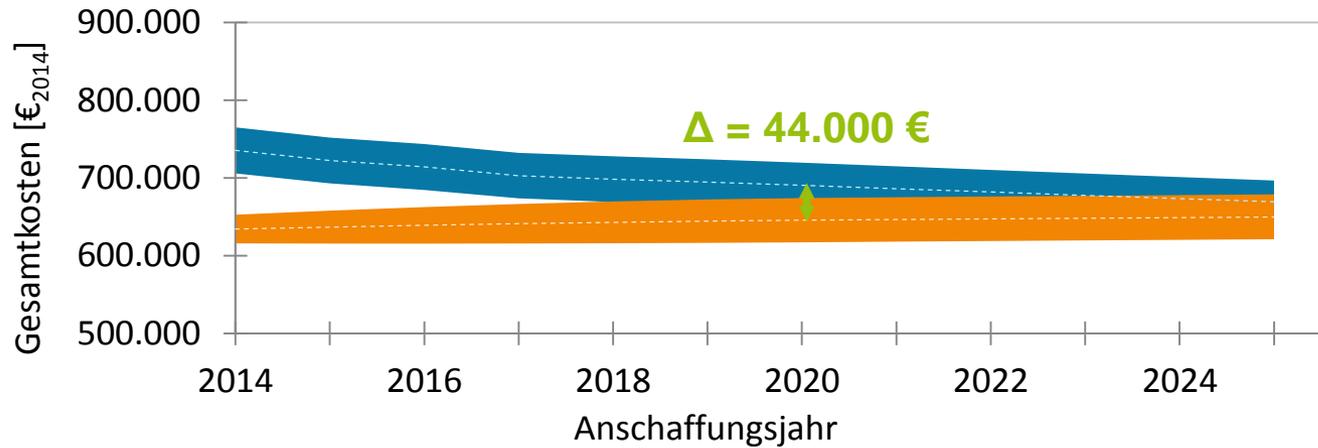


# Gesamtkosten eines 12 m-Standardlinienbus nach Anschaffungsjahr - *reduzierter Dieselpreis*

„Overnight Charging“

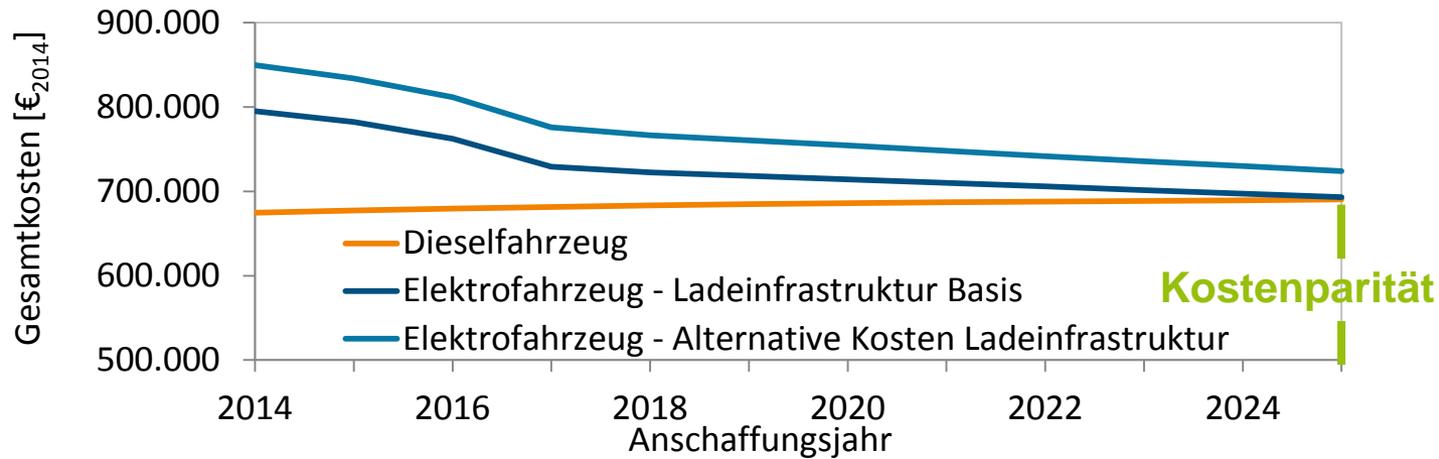


„Opportunity Charging“

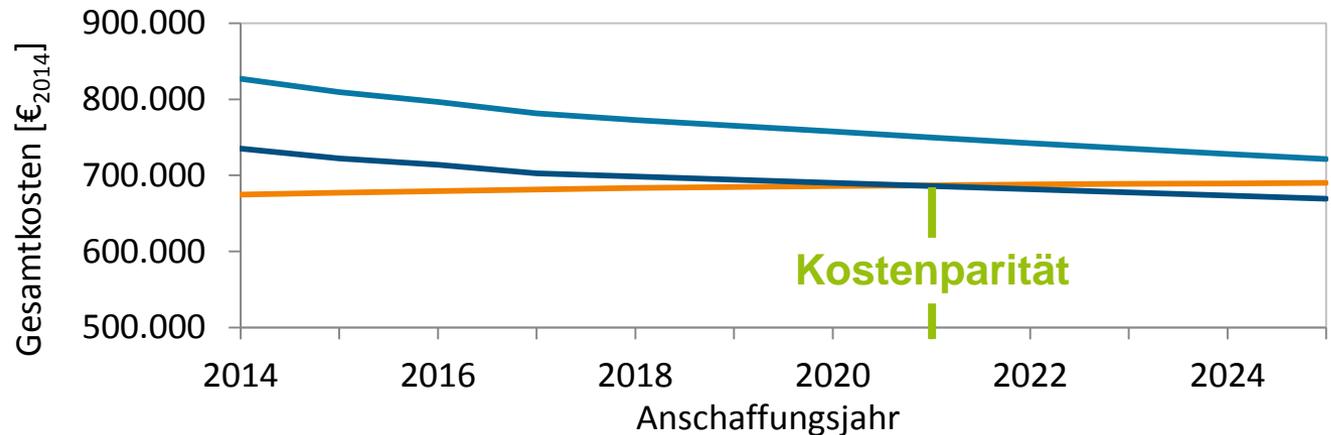


# Gesamtkosten eines 12 m-Standardlinienbus (mittleres Szenario) - *alternative Infrastrukturkosten*

„Overnight Charging“

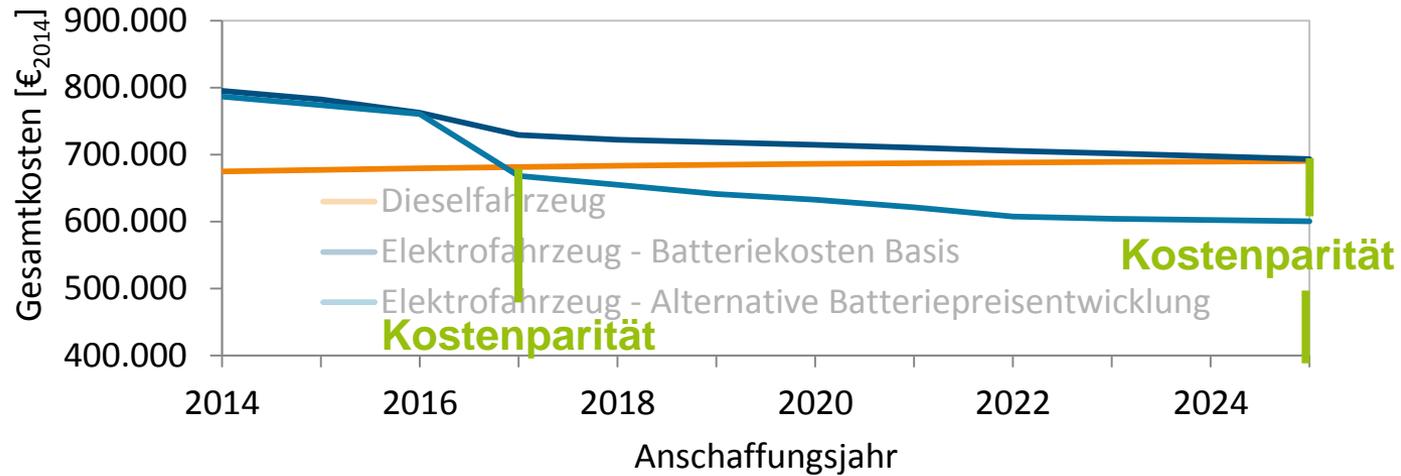


„Opportunity Charging“

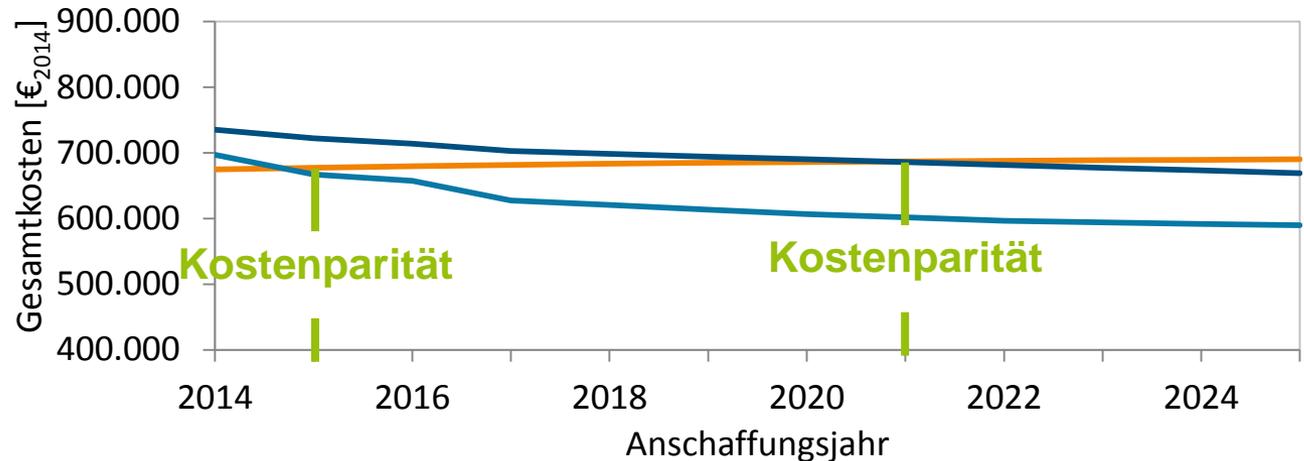


# Gesamtkosten eines 12 m-Standardlinienbus (mittleres Szenario) - *alternative Batteriepreisentwicklung*

„Overnight Charging“



„Opportunity Charging“



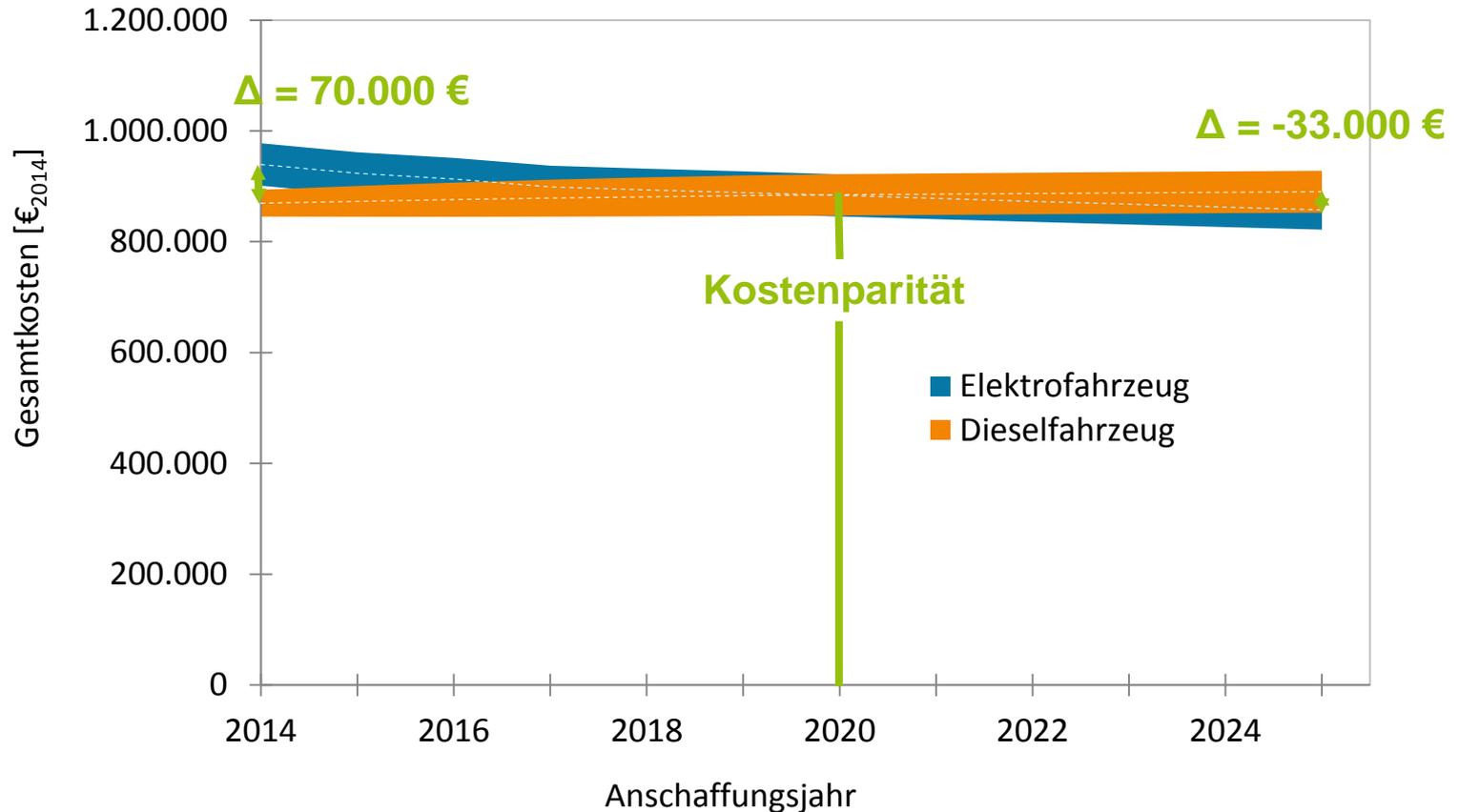
# Ergebnisse

*Beispiel: 18 m-Gelenkbus*

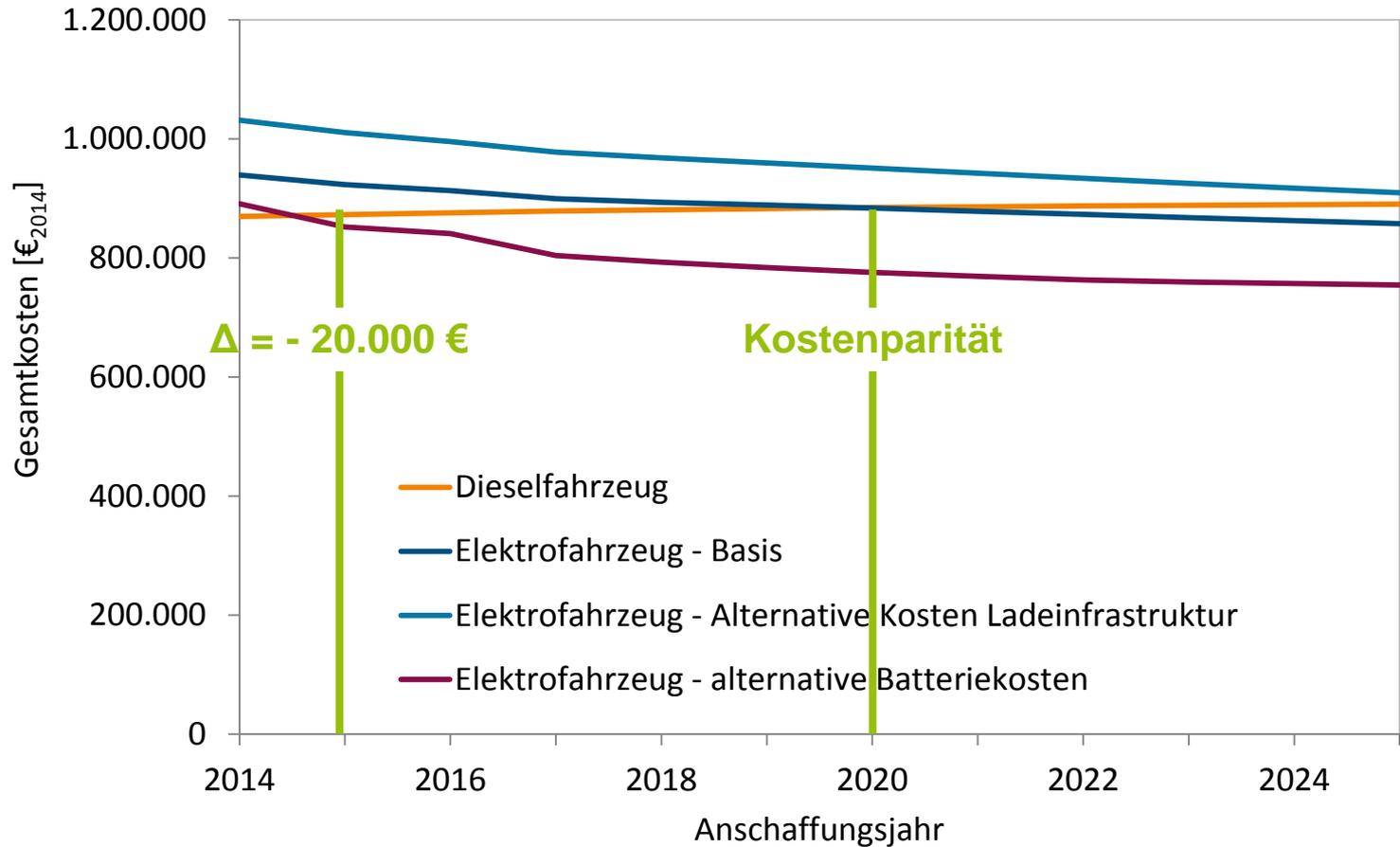
# Standardparameter 18 m-Gelenkbus

Parameter	Ausprägung
<b>„opportunity-charging“- Bus (OC)</b>	
<b>Ladeinfrastruktur</b>	Ladesäule 22 kW & Schnellladestationen an den Endhaltestellen
<b>Ladeverhalten</b>	auf dem Betriebshof und an den Endhaltestellen
<b>Reichweite</b>	50 km
<b>Nutzbare Batteriekapazität</b>	100 kWh

# Gesamtkosten eines 18 m-Gelenkbus nach Anschaffungsjahr (Haltedauer 12 Jahre, Fahrleistung 60.000 km/a)



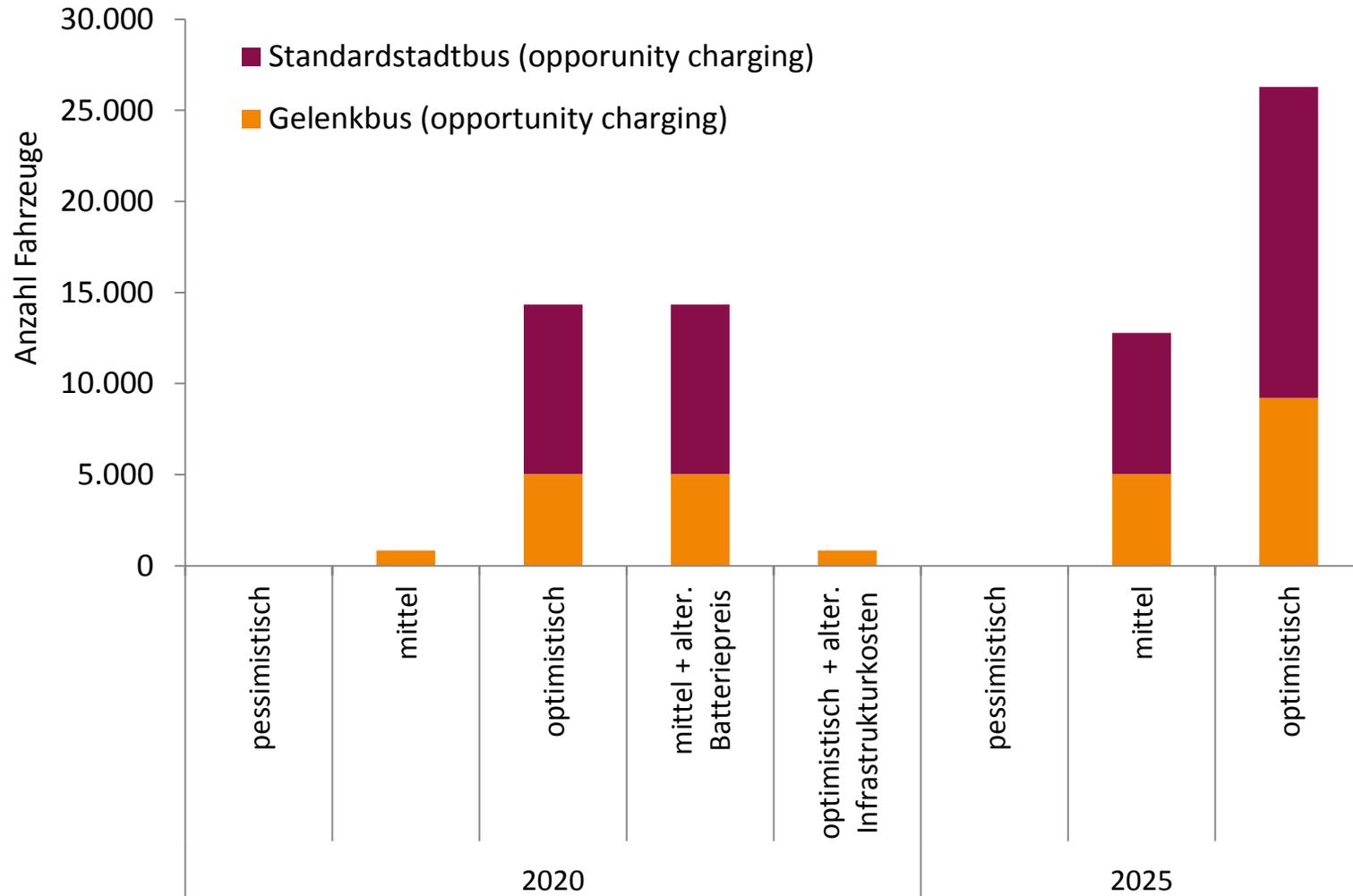
# Gesamtkosten eines 18 m-Gelenkbus (mittleres Szenario) *Alternative Batterie- und Infrastrukturkosten*



# Ergebnisse

## *Abschätzung eines ökonomischen Potenzials*

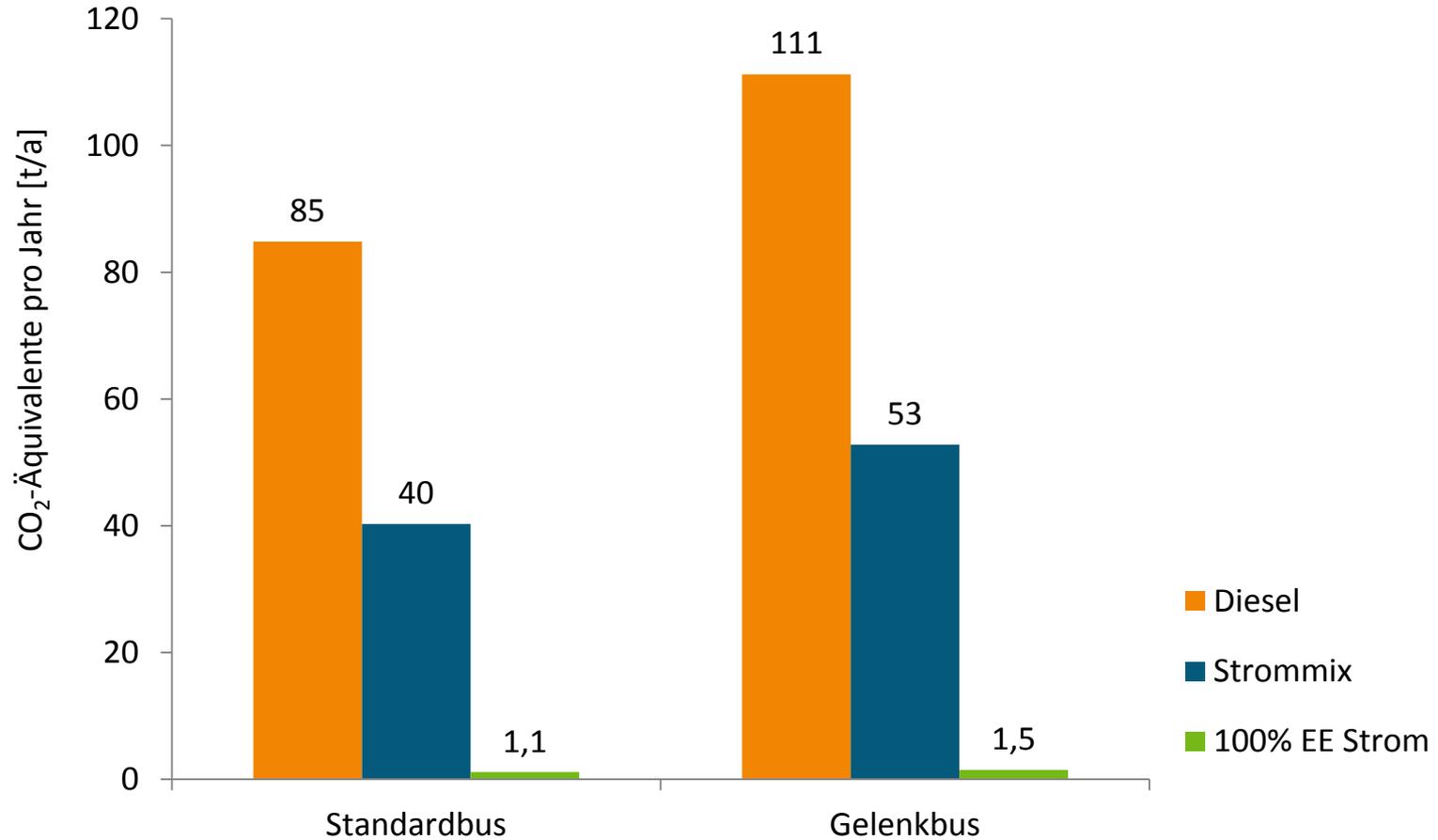
# Ökonomisches Potenzial von batterieelektrischen Bussen in den Jahren 2020 und 2025



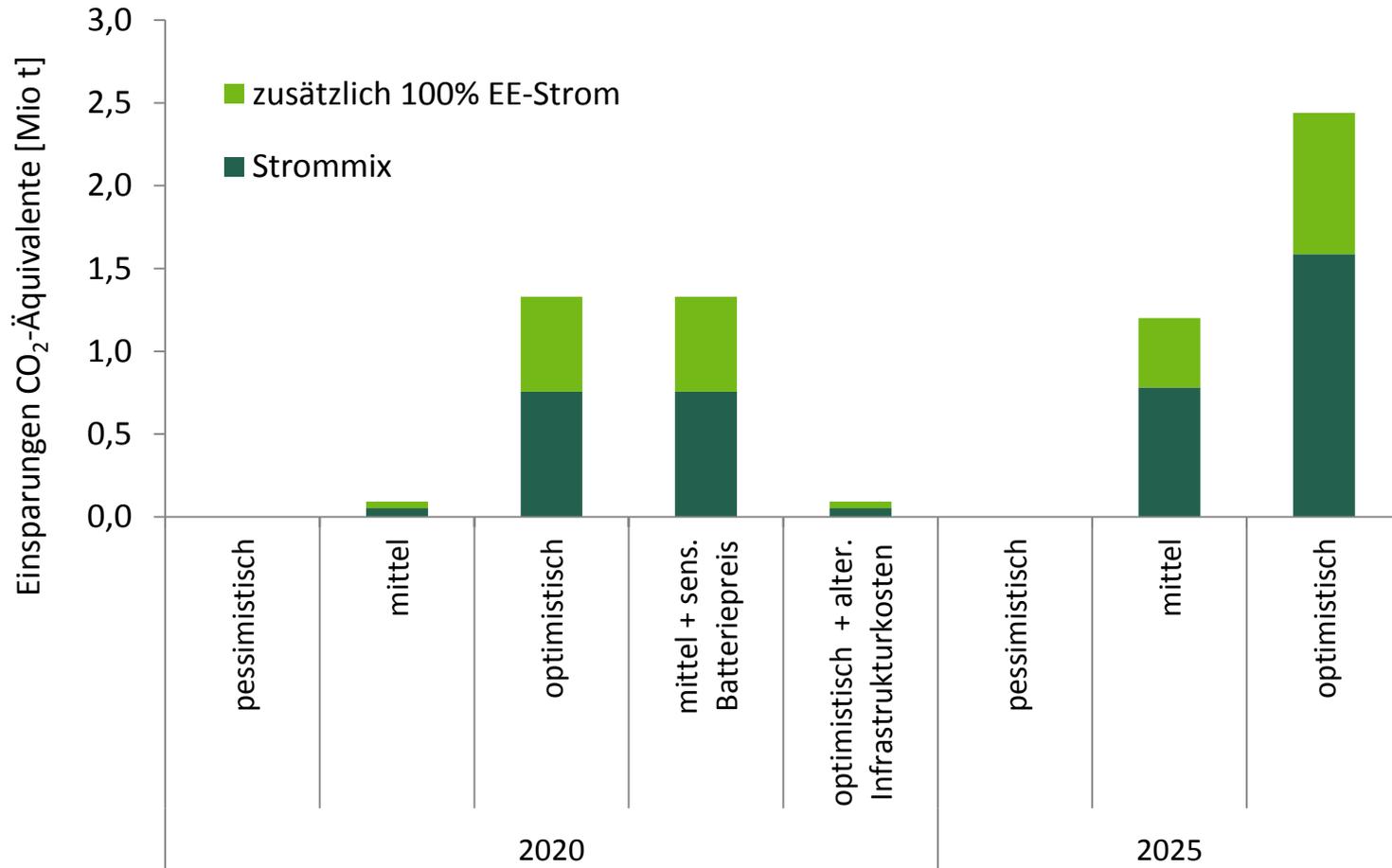
# Ergebnisse

## *Mögliche Minderung der Treibhausgasemissionen*

# Mögliche CO<sub>2</sub>-Minderung durch den Einsatz von batterieelektrischen Bussen (pro Fahrzeug und Jahr)



# Mögliche CO<sub>2</sub>-Minderung durch batterieelektrische Busse in den Jahren 2020 und 2025



# Agenda

- 1** Einführung  
*Wo steht Elektromobilität im Bereich der Linienbusse*
- 2** Methodik und Eingangsgrößen  
*Überblick und wichtigste Parameter*
- 3** Ergebnisse  
*Gesamtkosten, ökonomische Potenziale und CO<sub>2</sub>-Minderung*
- 4** Zusammenfassung und Ausblick

## Fazit

- Unter günstigen Rahmenbedingungen können Elektrobusse schon vor 2020 die Wirtschaftlichkeitsschwelle überschreiten.
- Busse mit Zwischenladung (OC) bieten bei hoher Auslastung der Ladeinfrastruktur und moderaten Infrastrukturpreisen wirtschaftliche Vorteile gegenüber Vollladern (ON).
- Große Unsicherheiten in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit sind mit der Entwicklung der Batteriekosten sowie der Kosten der Ladeinfrastruktur verbunden.
- Niedrige Dieselpreise erschweren den wirtschaftlichen Betrieb von Elektrobussen erheblich.
- Die durch Elektrobusse erzielbarer Einsparung an Treibhausgasemissionen ist aufgrund von hohen Verbräuchen und Fahrleistungen erheblich.
- Der TCO-Ansatz vernachlässigt Vorteile von Elektrobussen wie die lokale Emissionsfreiheit und die Reduktion der Lärmemissionen.

# Ihre Ansprechpartner

---

## **Moritz Mottschall** **Öko-Institut e.V.**

Büro Berlin  
Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin

Telefon +49 30 405085-377  
E-Mail: [m.mottschall@oeko.de](mailto:m.mottschall@oeko.de)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!  
Thank you for your attention!

Haben Sie noch Fragen?  
Do you have any questions?



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages