

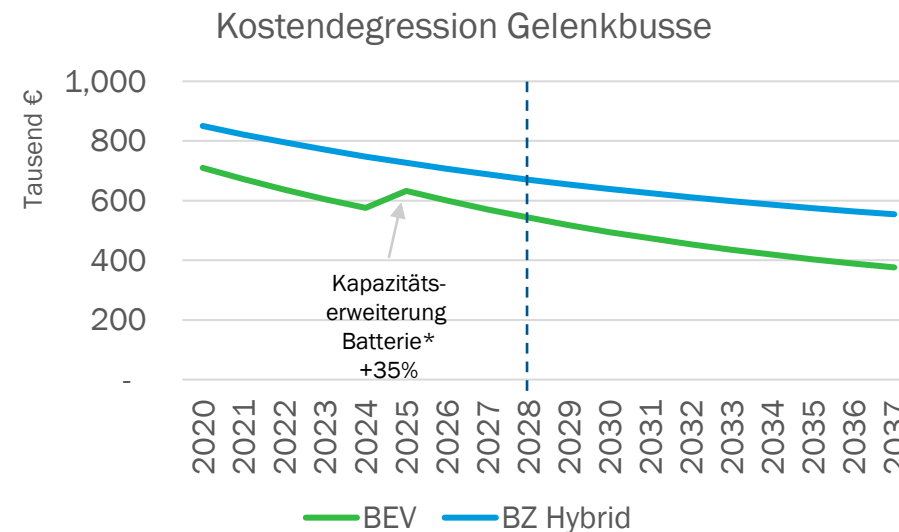
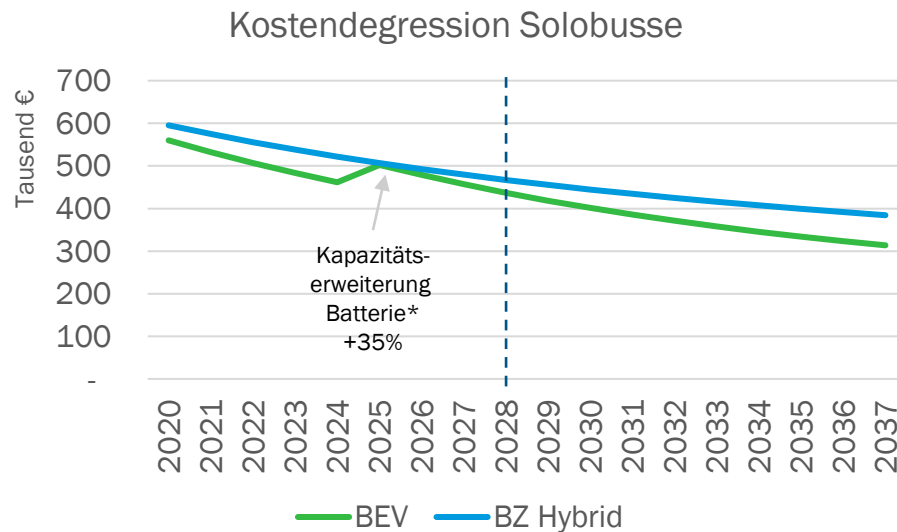
TCO (Total-Cost-of-Ownership) Technologievergleich Aktualisierung 2022

Verwendete Technik- und Kostenannahmen (1/3)

Aktualisierung 2022

- Heutige Fahrzeuginvestitionskosten [Sphera]:
BZ Hybrid angepasst entsprechend Kostenobergrenze Förderung (BMDV/ VM BW), Rest unverändert
- Kapitalkosten (WACC) auf 4,4% (von 3%) angepasst
- Auf Basis einer angenommenen Reduktion von 9% pro Jahr der BZ (heute: 1.500 €/kW) und Batteriekosten (heute: 700 €/kWh) erfolgt Reduktion des Fahrzeugpreises mit der Zeit
- Kaufpreise von Diesel und CNG Bussen werden als konstant in der Zeit angenommen
- Restwert aller Bustypen einheitlich mit 0 € berücksichtigt

Kosten je Bus heute	Solobus (12m)	
	2022	2028
Diesel Euro VI	230 k€	230 k€
BEV	560 k€	479 k€
BZ Hybrid	585 k€ (-10 k€)	483 k€



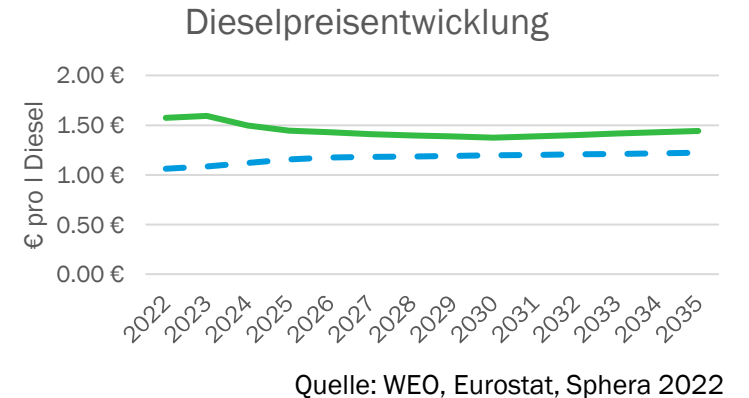
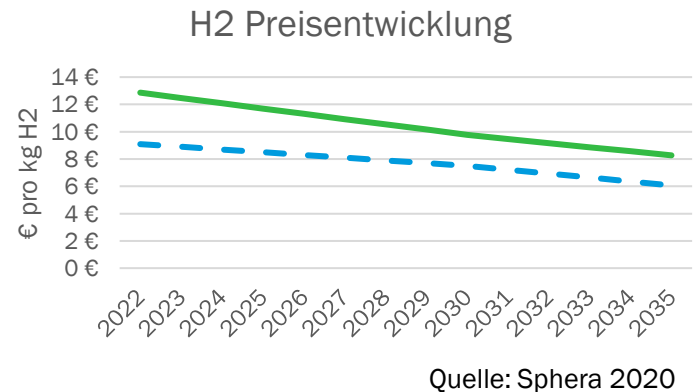
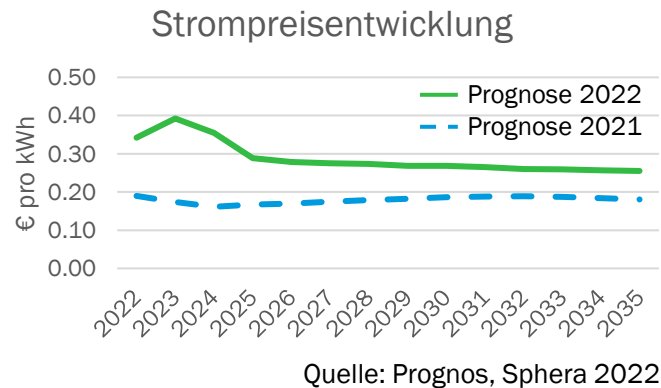
*Kapazitätserweiterung der Batterie aufgrund von Technologiefortschritt (höhere Energiedichten) bis 2025

Verwendete Technik- und Kostenannahmen (2/3)

Aktualisierung 2022

- Verbrauch nach SORT 3 (~25 km/h ohne Wendezeit)
 - Jahresmittelwerte
 - BEV mit vollelektrischer Heizung
- BEV mit systembedingter Reichweitenlimitierung, auf kurzen Umläufen können BEV Dieselbusse 1:1 ersetzen. Bei längeren Umläufen ist das Fahrzeug mit Depotladekonzept untertägig zu tauschen, dadurch umlaufplanabhängiger Mehrbedarf, der >30% sein kann. Bei Gelegenheitsladung üblicherweise auch geringfügiger Mehrbedarf (ca. 10%)
 - Annahme für BEV: **Fahrzeugmehrbedarf 15%** Anteil BEV in ZEV
- Entwicklung der Kraftstoffkosten (**heutige Werte (2022): 0,34 €/kWh, 12,85 €/kg H₂, 1,57 €/l Diesel**)
 - Anstieg für 2022 gegenüber in 2021 prognostizierten Werten: Strom + 86%, H₂ + 41 %, Diesel + 48%

Verbrauch	Diesel [l/ 100 km]	BEV [kWh/km]	BZ [kg H ₂ / 100 km]
12 m	36,0	1,7	9,2
18 m	47,4	2,1	10,2



Verwendete Technik- und Kostenannahmen (3/3)

Aktualisierung 2022

- Lebensdauer der Busse: 10 a (Mittelwert aus erhaltenen Werten der Verkehrsunternehmen)
- Jährliche Laufleistung je Bus: 60.000 km (Diesel, CNG, BZ)
54.000 km (BEV)

Niedrigere, jährliche Laufleistung für BEV ergibt sich aus Fahrzeugmehrbedarf von **15% (bisher 20%)** gegenüber Diesel, sowie 3% Mehrkilometer durch zusätzlich nötige Zu- und Abfahrten vom Betriebshof

- Annahmen zu Infrastrukturkosten
 - BEV: Anzahl Depotlader entsprechen Anzahl der Busse
 - Infrastruktur für je 50 Busse gerechnet und dann linearisiert

+10% Inflationsanpassung für
Infrastrukturkosten

- Bedarf von zusätzlicher Betriebshoffläche für zusätzliche Abstellflächen und Flächen für Energieversorgung. Dieser kommt zustande durch
 - Jährliches Anwachsen der Flotte
 - Fahrzeugmehrbedarf bei BEV

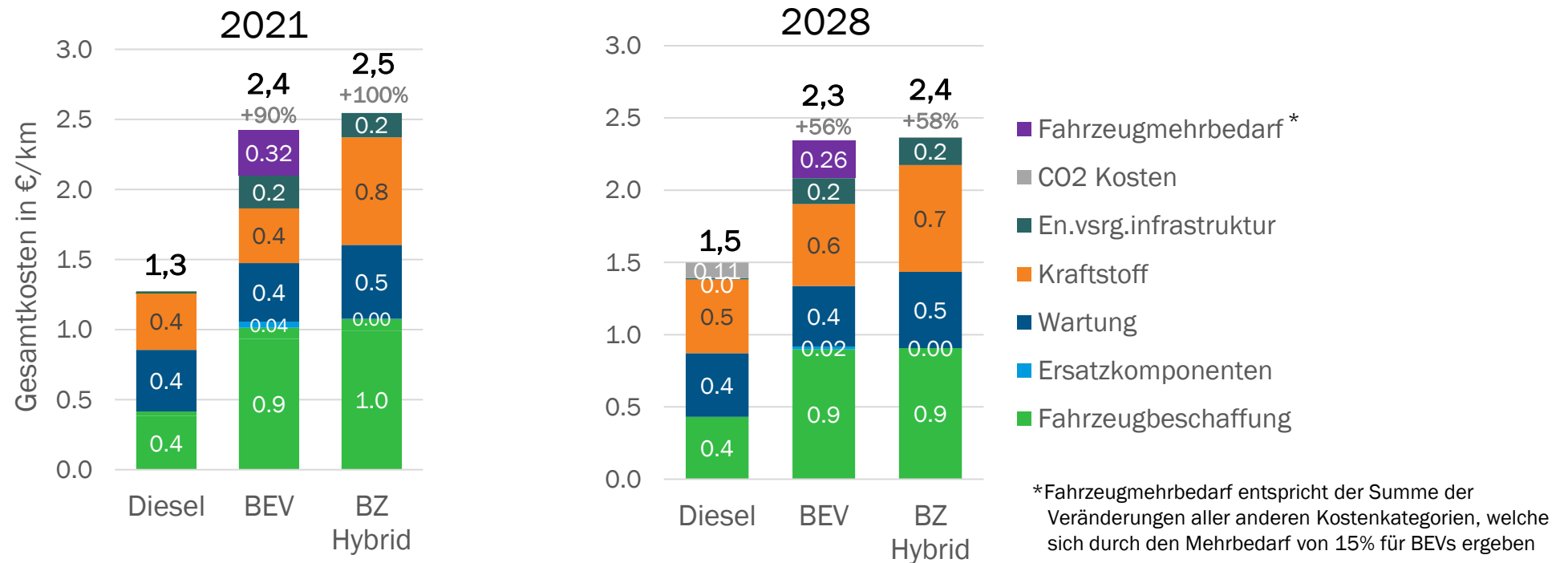
Annahme: Investitionskosten von ~50 Mio. € für einen Betriebshof mit ~100 Bussen

- ~Kosten von 0,5 Mio. € pro Bus (zzgl. Kapitalkosten bei 1,5% Zinsen)
(Nur gezahlt für Flottenerweiterung, nicht für bisherige Busse)
- Betriebshoferweiterung für alle Busse bis 2032 angenommen im Jahr 2025

**Betriebshofflächenmehrbedarf
bei nachfolgenden TCO Berechnungen
nicht berücksichtigt,
da als reiner Technologie-
vergleich ausgelegt**

TCO-Vergleich für 12 m Busse in 2021 und 2028 (Anschaffungsjahr)

Aktualisierung 2022

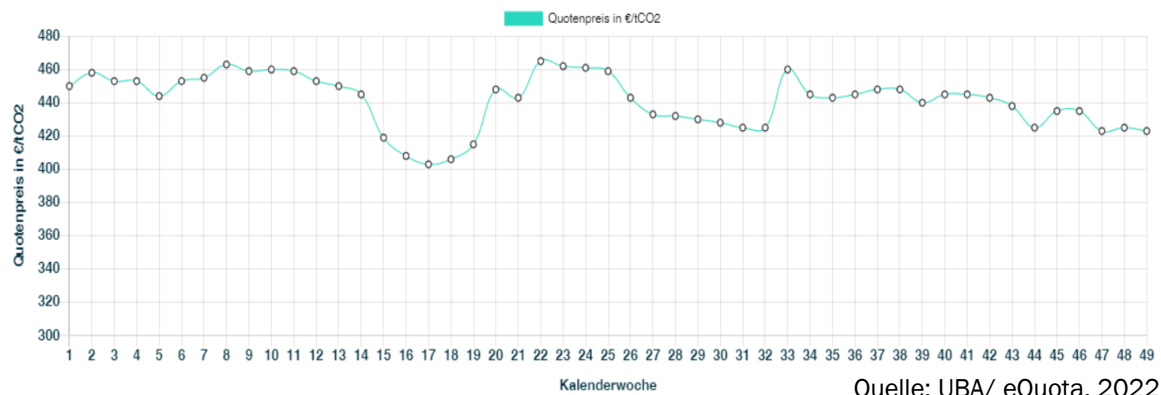


- 2021 (Daten aus WBO VM BW Studie):
ZEVs ~90-100% teurer als Diesel, leichte Kostenvorteile für BEV gegenüber BZ, CO2 Kosten entsprechend Brennstoffemissionshandelsgesetz in Kraftstoffkosten berücksichtigt (ab 2026: 60 €/ t CO₂)
- 2028: aktualisierte Kosten (höhere Kraftstoff- & Kapitalkosten, geringerer Mehrbedarf
Annahme erhöhte CO₂ Kosten Diesel: 180 €/t CO₂ (+120 €/t CO₂),
ZEV mit reduzierten Mehrkosten BEV: +56% bzw. +0,84 €/km
BZ: +58% bzw. +0,87 €/km

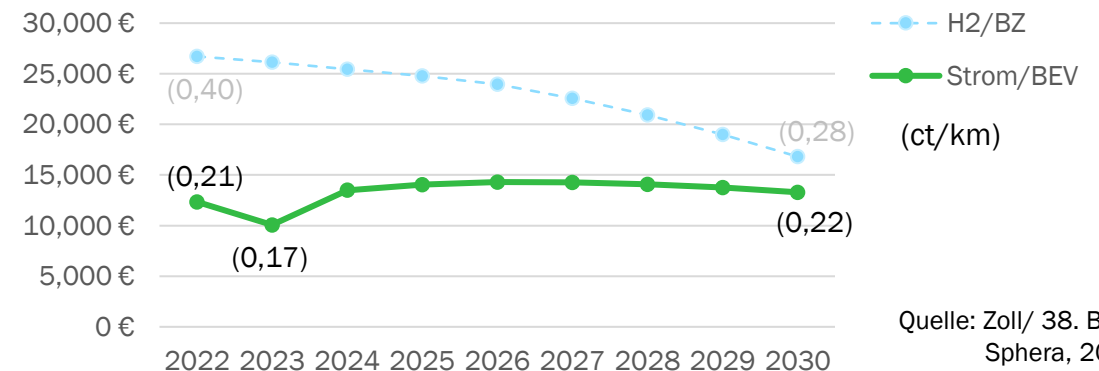
Erlöspotenzial über THG Quotenhandel

- Einsatz von sowohl Strom als auch Wasserstoff kann auf Treibhausgas(THG)-Minderungsquote (entsprechend 38. BImSchV) angerechnet werden
- Hierzu Bestimmung THG Minderungsmengen entsprechend 38.BImSchV und im Falle Strom jährlich vom UBA festgesetzten THG-Intensität des deutschen Netzstroms bzw. Strom aus EE und Verkauf entweder über Zwischenhändler (Provision!) oder direkt an quotenverpflichtete Unternehmen (z.B. Mineralölfirmen)
- Aktueller THG Quotenpreis (Nov. 2022) liegt bei ~ca. 430 €/t CO₂e (Ø 2022: 442 €/t CO₂e)
- Beispielhaftes Erlöspotenzial 2023*: BEV ca. 10.100 €, (0,17 €/km)
2028*: BEV ca. 14.100 €, (0,23 €/km)
- Variabilität ist zu berücksichtigen, Einfluss hat neben THG Quotenpreis z.B. CO₂ Intensität Netzstrom Beispiel 2023: erhöhte THG Intensität Netzstrom Rückgang Erlöspotenzial auf ca. 10.000€
- Für H₂ derzeit nur Kraftstoffhersteller Quoten berechtigt, Anpassung im Rahmen geplanter Novellierung 37. BImSchV erwartet

Entwicklung THG-Quotenpreise 2022



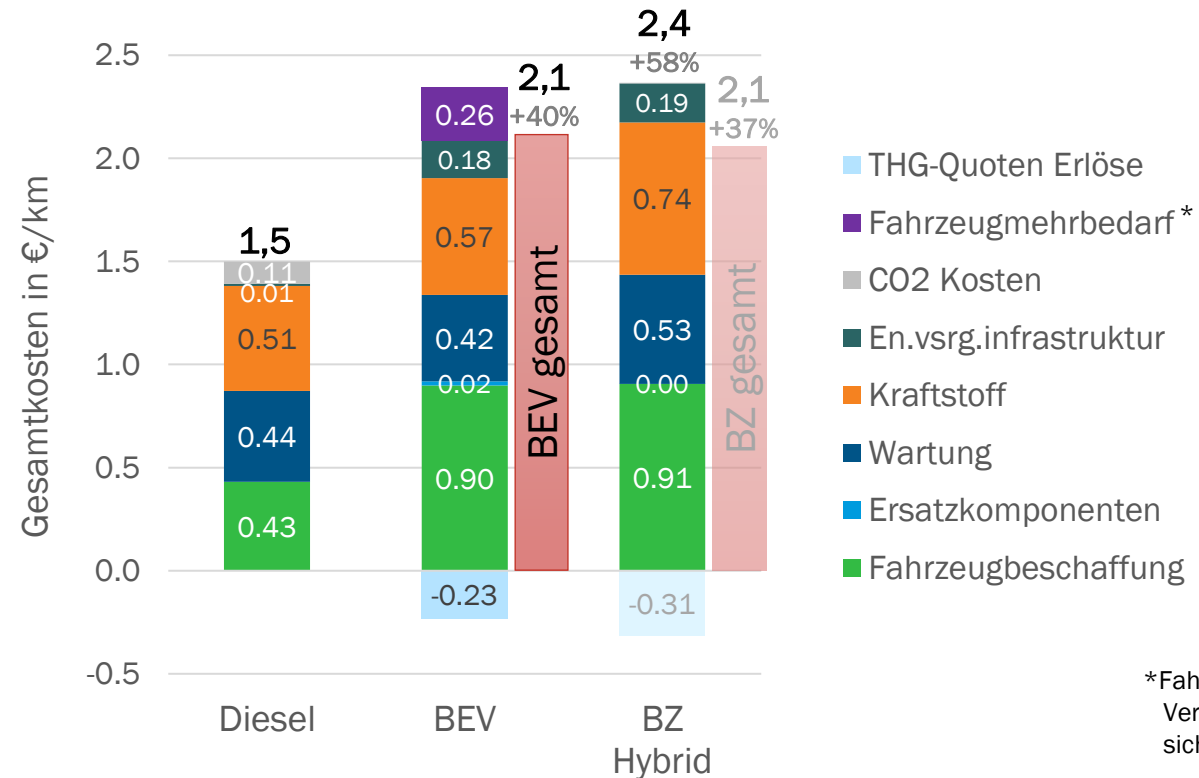
Erlöspotenzial THG Quotenhandel



* Annahmen: 442 €/ t CO₂e entsprechend YTD (KW49) Mittelwert 2022 "THG-Quote non-conventional" mit Zahlungsziel „kontinuierlich“, jährl. THG-Minderungsquote, 10% Provision für Händler, 60.000 km/a, H₂ aus SMR, THG dt. Stromix: 2022/2023/2025/ 2030: 1.19/135/97¹/69¹ kg CO₂e/GJ ¹ geschätzt

TCO-Vergleich für 12 m Busse inkl. THG-Quotenerlös (Anschaffungsjahr 2028)

Aktualisierung 2022



*Fahrzeugmehrbedarf entspricht der Summe der Veränderungen aller anderen Kostenkategorien, welche sich durch den Mehrbedarf von 15% für BEVs ergeben

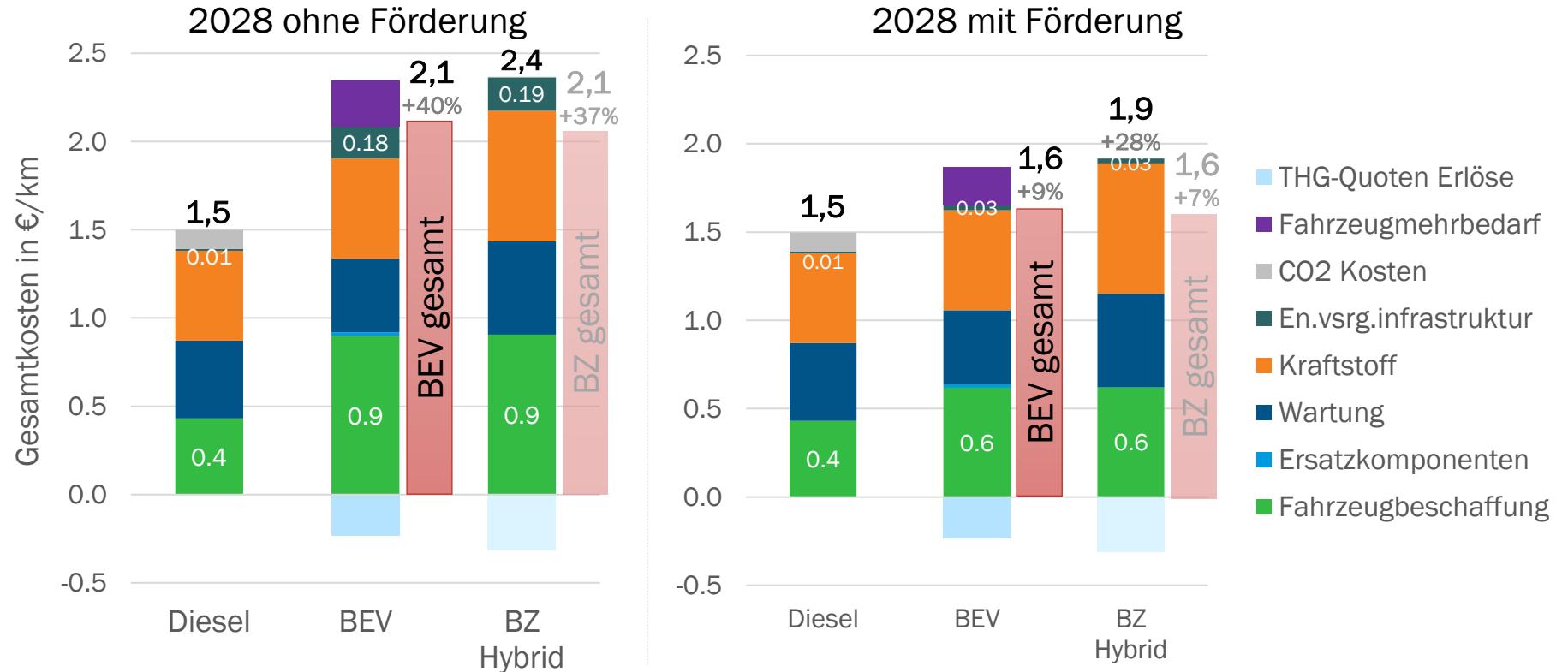
- Berücksichtigung Erlöse aus THG-Quotenhandel führt für BEV zu Reduktion der ZEV Mehrkosten vs. Diesel um 0,23 €/km auf +0,61 €/km bzw. +40% (BEV)
- Für H₂ ist ebenfalls Reduktion Mehrkosten möglich, wenn H₂ Hersteller seine THG Quotenerlöse an Endverbraucher über reduzierten H₂ Preis weitergibt (Anrechnung nach 38. BImSchV)
→ theoretisch Reduktion bei BZ Bus um 0,31 €/km auf +0,55 €/km bzw. +37% Mehrkosten möglich

TCO-Vergleich für 12 m Busse inkl. THG-Quoten und Förderung (Anschaffungsjahr 2028)

Annahme:

Förderung mit angepasster Landesförderung

- Förderung der Fahrzeug-Mehrinvestitionskosten vs. Diesel mit 60%
- Förderung der Infrastrukturinvestitionskosten mit 85% (75+10%)

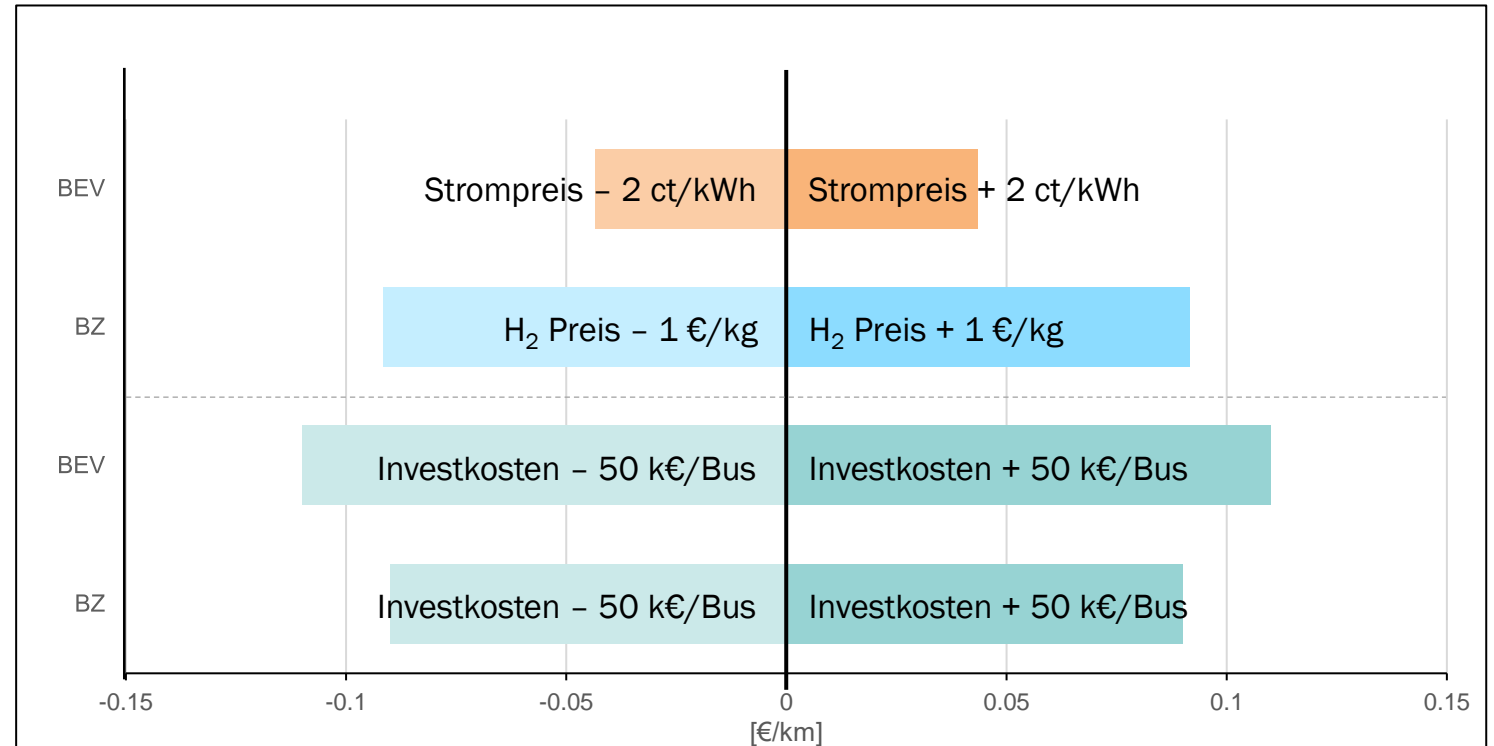


- Angenommene Fahrzeugmehrkostenförderung lässt Kosten für BZV von ~0,9 €/km auf ~0,6 €/km sinken
 - Reduktion Infrastrukturkosten mit LGVFG Förderung von ~0,2 €/km auf ~0,03 €/km
- Gesamtmehrkosten für ZEVs vs. Diesel sinken bei Berücksichtigung Förderung, CO2 Kosten von 180 €/t CO2 und THG-Quoten Erlösen von 37–58 % auf 9–28% (BEV bzw. H₂, für H₂ bei Weitergabe THG Quotenerlös auf bis zu 7%)
- Verbleibende Mehrkosten: +0,13 / 0,42 €/km (BEV/BZ, bei BZ Reduktion auf bis zu +0,10 €/km möglich)

TCO Vergleich für 12m ZEV.Busse

Einfluss der Energieträgerkosten und Investkosten auf TCO-Kosten

- TCO Kostenänderung bei Variation
 - Strompreis ± 2 ct/kWh
→ $\sim \pm 4$ ct/km
 - Wasserstoffpreis ± 1 €/kg
→ $\sim \pm 9$ ct/km
 - Investkosten ± 50.000 €
→ $\sim \pm 11$ ct/km (BEV)
→ $\sim \pm 9$ ct/km (BZ)
größere Kostenänderung bei BEV wegen zusätzlichem Fzg.mehrbedarf



- Bezogen auf die Gesamtkosten der ZEVs von 2,1 (BEV) bis 2,4 (BZ) €/km führt die durchgeführte Variation der Energieträger- und Investkosten zu relativ geringen Änderungen im Bereich 2 - 5%

Zusammenfassung TCO-Technologievergleich

Auswirkung der verschiedenen Maßnahmen auf die Mehrkosten vs. Diesel

Mehrkosten gegenüber Diesel mit und ohne Maßnahmen (in €/km)		12m						Mittlere Veränderung Mehrkosten	
		BEV			BZ				
		ohne	Veränderung	mit	ohne	Veränderung	mit	in €	in %
2028	Förderung Investitionskosten	0,84 €	- 0,32 €	0,52 €	0,87 €	-0,29 €	0,58 €	- 0,30 €	-36%
	Berücksichtigung THG-Quotenerlöse		- 0,23 €	0,61 €		(-0,31 €) ¹	(0,55 €) ¹	- 0,27 €	-32%
	Investkosten (± 50 k€)		± 0,11 €	0,73 € ²		± 0,09 €	0,77 € ²	- 0,10 €	-12%
	Änderung Energieträgerkosten (± 2 ct/kWh bzw. ± 1 €/kg)		± 0,04 €	0,80 € ²		± 0,09 €	0,77 € ²	- 0,07 €	-8%
	BEV Fahrzeugmehrbedarf 10% statt 15%		- 0,06 €	0,79 €		N/A	N/A	- 0,06 €	-7%
	Verringerte CO2 Kosten (60 statt 180 €/t)		+ 0,11 €	0,95 €		+ 0,11 €	0,97 €	+ 0,11 €	+ 13%

¹ Bei Weitergabe Erlöse durch H2 Verkäufer
² Wert nur für Reduktion Mehrkosten angegeben

- Investitionskostenförderung für Fahrzeuge und Infrastruktur sowie Berücksichtigung der Erlöse aus THG-Quotenhandel ermöglicht Verringerung der Mehrkosten von ZEV gegenüber Dieselfahrzeugen von knapp 70%
- Reduktion Fahrzeugmehrbedarf bei BEV von 15 auf 10% führt zu 7% niedrigeren Mehrkosten vs. Diesel
- CO₂ Kosten von 180 €/t CO₂ statt 60 €/ t CO₂ (abgeleitet aus Preiskorridor für 2026 lt. Brennstoffemissions-handelsgesetzes) verringert Mehrkosten von ZEV vs. Diesel um 11 ct/km

Fazit TCO Kostenaktualisierung 2022

- Aktuell deutlicher Anstieg der Energiekosten zu verzeichnen (Diesel und H₂ ~ 45%, Strom + 86%)
- Annahme, dass die Mehrkosten für Energie über Haltedauer von 10 Jahren im Mittel geringer ausfallen
- Weitere Anpassungen betreffen höhere Kapitalkosten, geringeren Mehrbedarf bei BEV aufgrund steigender Batteriekapazitäten und Reduktion Fahrzeugkosten für BZ Hybrid sowie Berücksichtigung des THG-Quotenhandels
- Kostenanstieg Diesel TCO um 18% bzw. 23 ct/km vs. Diesel Ergebnisse aus 2021er Studie
- In 2028 sind weiterhin relevante Mehrkosten für ZEV vs. Diesel zu erwarten (+56-58%)
- Neben angenommener Förderkulisse von 60% Fzg.mehrkosten und 85% für Energieversorgungsinfrastruktur Förderung bietet die Erlöse aus THG-Quotenhandel relevantes Reduktionspotential für die Mehrkosten (-36% bzw. -32%). Im Ergebnis verbleiben Mehrkosten für ZEV Technologien vs. Diesel von 9 - 28% (BEV: +0,13 €/km, H₂/BZ: +0,42 €/km)
- Erfolgt im Fall H₂/BZ Weitergabe der THG Quotenerlöse an Busbetreiber, können verbleibende Mehrkosten bis auf 7% sinken
- Kostenparität ist mit Steigerung Förderung der Fzg.mehrkosten auf 80% erzielbar
- Generell ist Variabilität bei mehreren Kostenparametern zu berücksichtigen (THG-Quotenhandel, Energiekosten, Investkosten, CO₂ Kosten)