



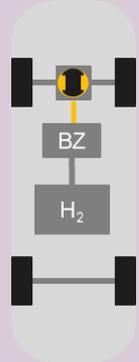
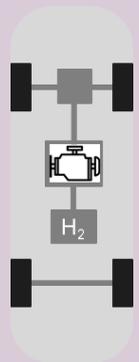
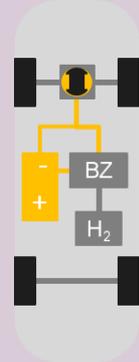
thinkstep

Machbarkeitsstudie Einsatz H₂/BZ-Busse bei der rnv - Ergebnisse Heidelberg -



Stadtentwicklungs- und Verkehrsausschuss
Heidelberg
03.04.2019
Dr. Stefan Eckert
thinkstep AG

Betrachtete Antriebskonzepte

	BZ	H ₂ - Verbrenner	BEV	BZ-REX
Konzept				
Technologiereife	Serie	Konzept	Serie	Konzept
Verbrauch pro 100 km ⁽¹⁾	8,5 kg H ₂ ⁽²⁾	10,8 kg H ₂ ⁽³⁾	120 kWh (182 kWh Heizbetrieb) ⁽²⁾	62 kWh; 4,2 kg H ₂ ⁽²⁾

- Vergleichsbasis aller Betrachtungen (Kosten, Ökologie, etc.) ist die neueste Motorengeneration Diesel Euro VI

(1) Bezogen auf 300 km Umlauflänge eines Solobusses, Winterverbrauch

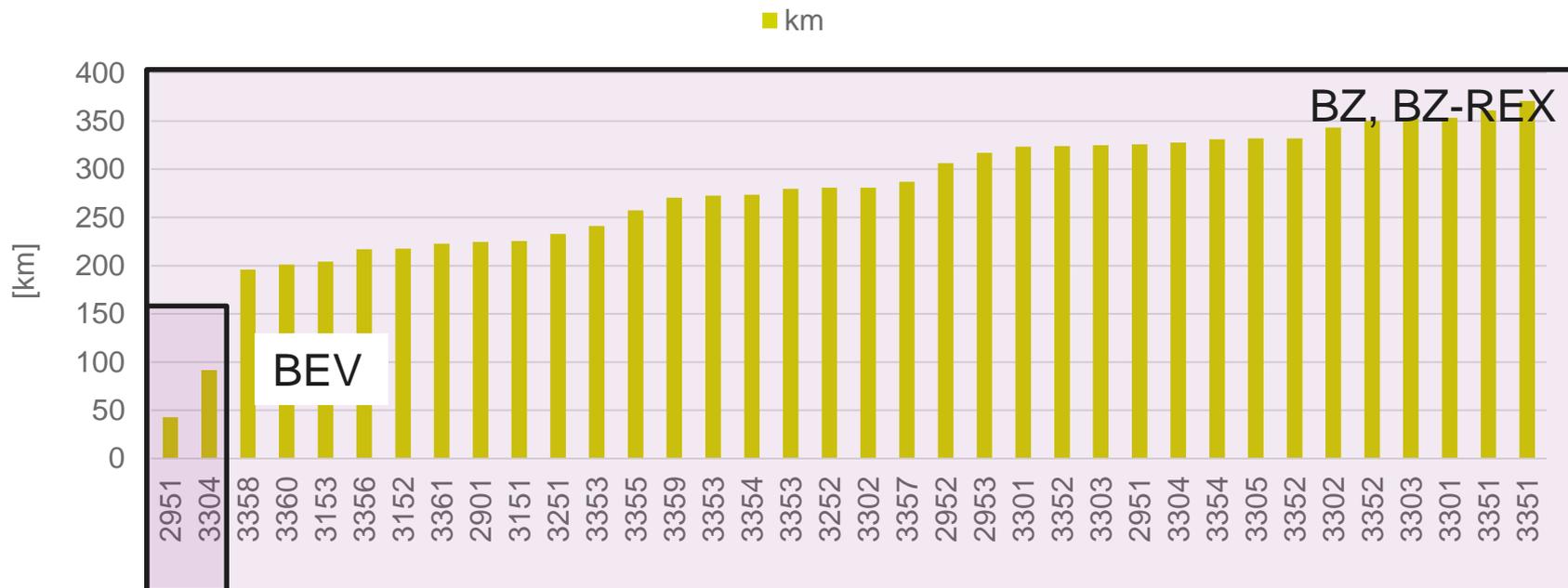
(2) Simulationsdaten für das Gesamtfahrzeug

(3) Abgeleitet aus Prüfstandsdaten, ca. 10 % Verbrauchsreduktion in laufender Entwicklung erwartet

Qualitativer Vergleich

	Diesel	Wasserstoff	Strom
Fahrkomfort (Vibrationen)	-	+ (BZ, Abweichungen beim H ₂ -Verbrenner)	+
Geräusch	-	+ (BZ) o (H ₂ -Verbrenner)	+
Lokale Schadstoffemissionen	- (90 % Reduktion Euro V → VI)	+	+
Treibhausgasemissionen	-	+ (abhängig von der Wasserstoffquelle)	+ (abhängig von der Stromquelle)
Tanken / Laden	+	+ (aber: komplexer als Diesel)	- (lange Ladezeiten)
Reichweite	+	o	-

Umlauflänge über Umlaufnummer für Solobusse in Heidelberg:



- Kaum Umläufe rein elektrisch befahrbar => 25 % Mehrbedarf an Fahrzeugen und Personal
- Alle Umläufe mit BZ bzw. BZ-REX Fahrzeugen umsetzbar, für Gelenkbusse bei einigen Umläufen ggf. H₂-Zusatztank erforderlich

Übersicht Infrastrukturbedarf

	Heidelberg (41 Busse: 17 Solo, 24 Gelenk)		
	H ₂ -Tankstelle	H ₂ -Tankstelle + On-site Elektrolyse	Ladeinfrastruktur
Investitionsbedarf	3,0 – 5,0 Mio. €	6,1 – 11,3 Mio. €	1,5 – 3,7 Mio. €
Anschlussleistung	< 500 kW	1,9 – 3,8 MW	2,5 – 9,5 MW
Platzbedarf	480 – 590 m ²	650 – 960 m ²	125 – 260 m ²

Spreizung ist technologiebedingt, BZ-REX benötigt H₂- + Ladeinfrastruktur

Kostenarten

Kostenbestandteile

- Anschaffung Busse

Einführung in 3 Schritten, Beschaffungskosten konstant

- Wartung Busse

Ersatz BZ und Batterie nach 50 % Lebensdauer

- Tankstelle

Nutzungsdauer 15 a

- Wartung Tankstelle

- Ladeinfrastruktur

- Wartung Ladeinfrastruktur

- Ladestrom

18 ct/kWh (Großabnehmer)

- Dieserverbrauch

1,27 netto, abzgl. Energiesteuerentlastung von 5,4 ct/l, konstant

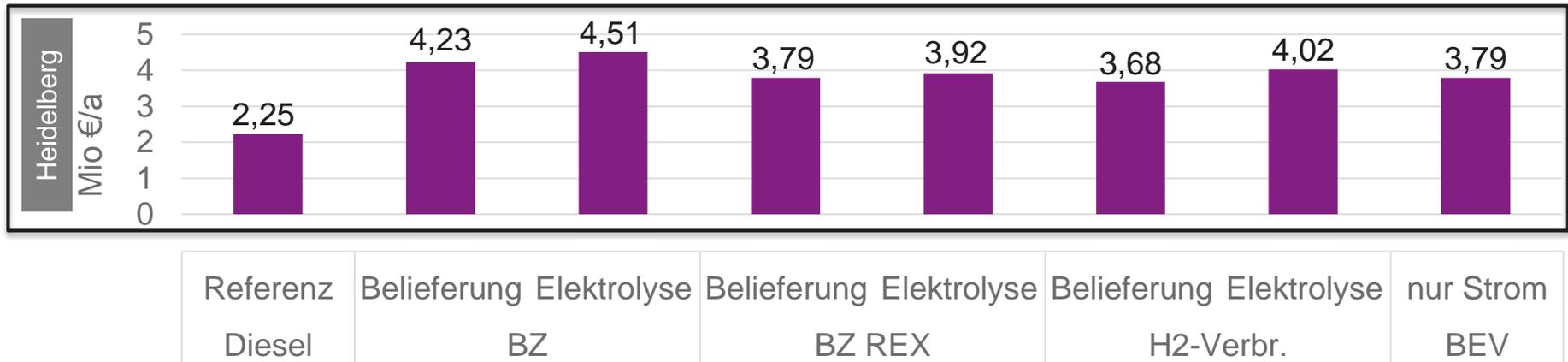
- H₂-Kosten

Preis sinkt mit höherem Bedarf (Flottenausbau)

- Personalmehrkosten

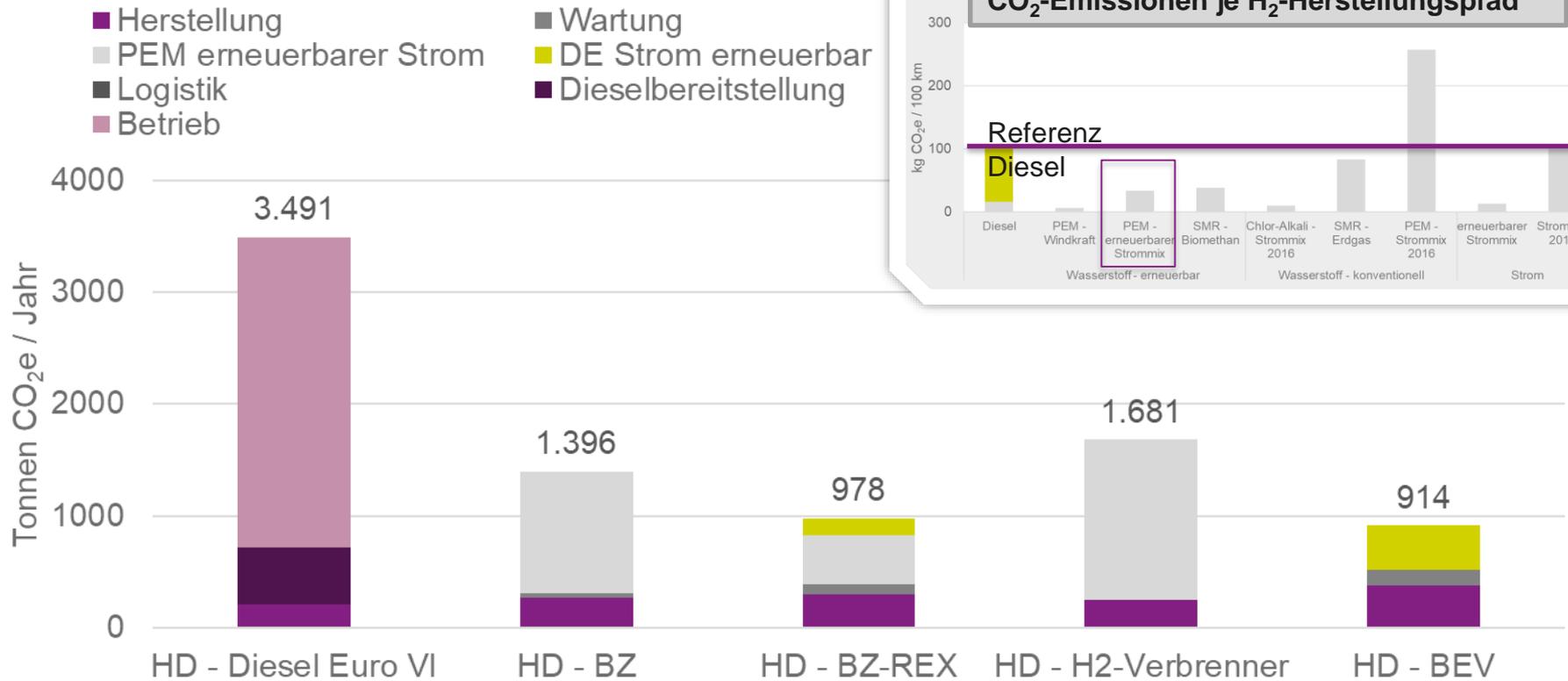
- Mehrkosten grüner H₂

Gesamtflotte HD: 41 Busse (51 BEV)



- Berechnung über Lebensdauer der Busse (13 Jahre)
- Mehrkosten im Vgl. zu Diesel 60 – 90 Prozent
- Belieferung aktuell günstiger als eigene H₂-Erzeugung mit Elektrolyse
- Kosten BZ-REX vgl.bar mit BEV, BZ 12 % teurer
- Kostenvergleich abh. von lokalen Bedingungen (Umläufe, Fahrzeuge etc.) und Annahmen (Mehrbedarf BEV-Busse, Strompreis etc.): EMCEL-Studie für Groß-Gerau identifizierte BZ als günstigste Lösung

Heidelberg - Treibhausgasemissionen



- H₂-Herstellung ist ausschlaggebend; bei PEM-Elektrolyse mit erneuerbarem Strom bis zu 72 % CO₂-Einsparung möglich

Kritische Aspekte der Umsetzung

Wasserstoff-Busse

- Alle derzeitigen Umläufe prinzipiell darstellbar
- Erhöhter Platzbedarf für H₂-Tankstelle und ggf. Ladeinfrastruktur
- Energetisch aufwendiger als die direkte Stromnutzung
- Je nach Auslegung vergleichbare Kosten wie BEV möglich (zzgl. Elektrolyse)
- Geringe Fahrzeugverfügbarkeit am Markt

BEV-Busse

- Nur für sehr wenige Umläufe direkt einsetzbar
- Erhöhter Platzbedarf für Ladeinfrastruktur und zusätzliche Busse (ca. 25 %)
- Mehraufwand im Betrieb durch Zwischenladung im Depot
- Aufwändige Umgestaltung des Betriebsablaufs aufgrund neuer Umlaufplanung (nur Depotladung im Rahmen der Studie betrachtet)