
Was kann die Logistik von der Elektrifizierung der Busse lernen

BMDV-Fachkonferenz 2022 Klimafreundliche Nutzfahrzeuge

17. November 2022, Berlin
Dipl. Ing. (FH) Wolfgang Reitmeier

Ein paar Zahlen- wo stehen wir?

Bestand an Bussen zum 01.01.2022:

- Gesamtbestand 80.225 Busse (alle Klassen)
- davon ca. 40.000 Stadtlinienbusse (M3 I)
- davon 1.287 Busse mit E- Antrieb
- 64 Busse mit E- Antrieb und Wasserstoffbrennstoffzelle
- bis Ende 2022 werden ca. 2.000 E- Busse im Einsatz sein
- Förderungen für ca. 4.400 E- Busse wurden gewährt
- weitere Förderprogramme laufen noch.

Bestand an Lkws zum 01.01.2022:

- Gesamtbestand 3.550.814 Lkws (alle Klassen)
- 62 E- Lkws mit einer Nutzlast von mehr als 6 t
- 5 Lkws mit E- Antrieb und Wasserstoffbrennstoffzelle



Quellenangaben: Fahrzeugdaten des KBA, Internetseite der SWM/ MVG

Anforderungen an E- Bussen im Linieneinsatz

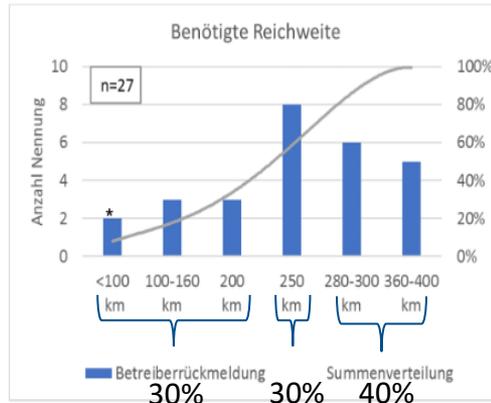
Erste Auswertung Betriebsdaten

Betreiberanforderungen I

Betreiberanforderungen (VCDB, SEK, ts):
Rücklauf bisher von 28 Betreibern mit unterschiedlicher Qualität/ Detaillierung

Erste Auswertungen:

- Geforderte Reichweite



- › Datenpunkt mit höchster Rückmeldungsquote
- › 81% der VU's benötigt 200 km+ Reichweite
- › 200-300 km Reichweite von 63% der VU's gefordert
- › >360 km bei 19% der VU's erforderlich
- › * Reichweitenanforderung <100 km ergeben sich aus 1 VU mit Gelegenheitsladen und 1 VU mit Flughafenvorfelddbetrieb
- › BZ Busse gleichmäßig verteilt (250, 300, 400 km)



14

Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Quellenangaben:

Wie setzen wir die Betriebsanforderungen um?

Ladung im Betriebshof über Nacht und in Pausenzeiten

Ladung im Betriebshof über Stecker (Langsamladung):

- Ladeleistung im Regelfall max. 150 kW
- Höhere Ladeleistung mit Wasserkühlung möglich
- Ladezeit: je nach Batteriekapazität, meist einige Stunden
- Steckerladung kann auch zum Laden auf der Strecke (z.B. Endhaltestellen) zum Einsatz kommen



Quellenangaben: Bildnachweis, Homepage Mediathek der Hochbahn, Stephan Anemüller, Kölner Verkehrs-Betriebe AG



Einsatzbereich: mittelschwerer Stadtverkehr,
Reichweite ca. 250 km am Tag, einfache Topografie

Wie setzen wir die Betriebsanforderungen um?

Ladung auf der Strecke

Ladung auf der Strecke über Pantograf (Schnellladung):

- Ladeleistung bis zu 600 kW
- Ladezeit: je nach Ladeleistung meist wenige Minuten
- Ladung erfolgt oftmals an Endhaltestellen und in Wendeanlagen
- Das Laden über Pantograf (Langsamladung) kommt vermehrt auch in Betriebshöfen über Nacht zum Einsatz.

Einsatzbereich: schwerer Stadtverkehr, Reichweite ca. 400 km am Tag, anspruchsvolle Topografie



Quellenangaben. Internetseite der BVG und KVB, Christoph Seelbach, Kölner Verkehrs-Betriebe AG

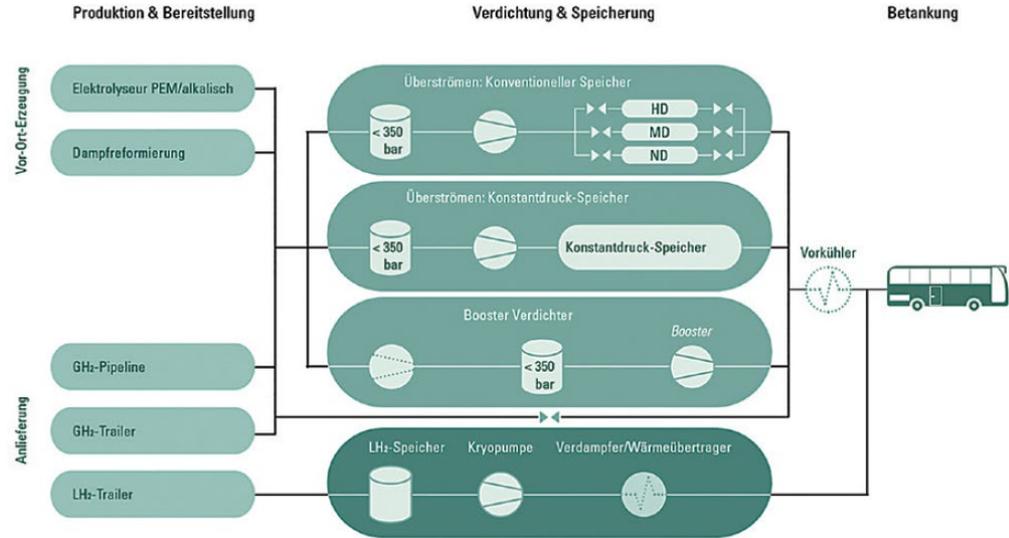


Wie setzen wir die Betriebsanforderungen um? Betankung mit Wasserstoff im Betriebshof

Betankung im Betriebshof mit H₂- Anlieferung über Trailer:

- Betankungsdruck: 350 bar
- Betankungszeit: einige Minuten
- Der Sicherheitsabstände bei Anlieferung von H₂ mit 200 bar und einer Lagermenge ab 5 t beträgt 60 m.
- Je Trailer können bei 200 bar nur rund 250 kg Wasserstoff entnommen werden.
- Je Tankvorgang für einen 12 m E- Bus mit H₂- BZ werden ca. 20- 25 kg Wasserstoff benötigt.
- Elektrische Energie zum Betrieb der Tankinfrastruktur wird ebenfalls benötigt.
- Die Versorgung über Pipeline wäre sinnvoll.

Quellenangaben: Emissionsfreie Energie- und Antriebskonzepte für Stadtbusse zur Umsetzung der europäischen Clean Vehicles Directive, Prinzipskizze einer Wasserstofftankstelle inklusive Anlieferung



Einsatzbereich: schwerer Stadtverkehr und Überlandverkehr (keine Infrastruktur auf der Strecke), Reichweite ca. 400 km am Tag, sehr anspruchsvolle Topografie

Alternativen zum Diesel? Schon heute! Wo liegen die Unterschiede bei den Kosten (Kostenansatz 2019)?

| | Kosten* | | | Reichweiten über zehn Jahre*** | Dauer Energie- zufuhr | |
|--|------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | Fahrzeuge | Infrastruktur Kauf | Betrieb Strom/Wartung/IH | | | Energie |
|  Batterieelektrisch | 5 Mio. € | 0,75 Mio. € | 19T €/a | 0,30 €/kWh =45 €/100km | > 250 km | 2 - 6 h**** |
|  Brennstoffzelle | 6 Mio. € | 3 Mio. € | 160T €/a | ±12 €/kg** =84 €/100km | 400 km | 10 - 60 min |
|  Synth. Kraftstoffe | 2,4 Mio. € | 0 € | <5T €/a | +20 %/Ltr. ggü. Diesel | > 400 km | 5 min |

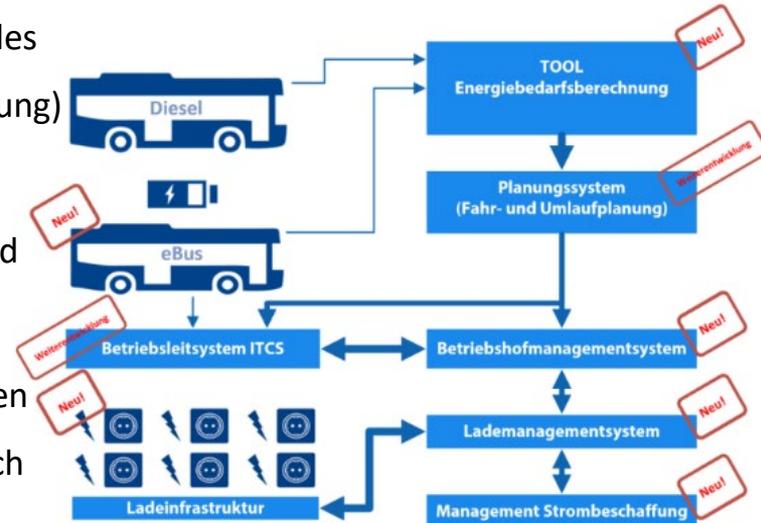
* ... Basis: Betrieb von 10 Fahrzeugen
 ** ... Ohne Transportkosten oder Trailermiete
 *** ... Abhängig von Klimatisierungskonzept, Topografie, Fahrgastauslastung, Geschwindigkeitsprofil
 **** ... Abhängig von Kapazität und Entladegrad des Akkumulators sowie Leistung des Ladegerätes

Quellenangaben

Digitalisierung beim Betrieb von E-Bussen

Einsatz von Betriebshof- und Lademanagementsystemen:

- Durch vernetzte Betriebshof- und Lademanagementsysteme wird der Ladeprozess optimiert. Die E-Busse werden termingerecht mit ausreichender Energie geladen und für den nächsten Linieneinsatz bereit gestellt.
- Dadurch diese Managementsysteme können Spitzenbelastungen des Netzes reduziert werden (Kostenreduzierung, gleichmäßige Belastung)
- Über das Betriebshof- und Lademanagementsystem kann die Vorkonditionierung (Vorheizen bzw. Vorkühlen des Innenraums und ggf. Temperierung der Batterie) gestartet werden.
- Netzdienliche Leistungsreduzierungen (z.B. in Hochverbrauchszeiten zwischen 18.00 Uhr und 20.00 Uhr) im Ladeprozess können dadurch realisiert werden.



Digitalisierung beim Betrieb von E- Bussen

Einsatz von Monitoringsystemen:

- **Betreuung der Busflotte über eine eigene Leitstelle:** Durch Monitoringsysteme kann in Echtzeit der Ladezustand, der aktuelle Verbrauch, die Rekuparation sowie weitere Fahrdaten (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Position usw.) und aktuelle Fahrzeugdaten wie z.B. Temperaturen, Verschleißzustände und Meldungen vom Fahrerdisplay übertragen und überwacht werden.
- **Brandschutz:** Durch die Vernetzung des Batteriemanagementsystems mit dem Betriebshof- und Lademanagementsystem können kritische Zustände der Batterie (z.B. Abweichungen der Zellspannung und der Temperatur) frühzeitig erkannt und an die Leitstelle übertragen werden. Ebenso kann die Überwachung der Ladeinfrastruktur (mit automatischer Auslösung von Brandmelde- und Brandbekämpfungsanlagen) in das Gesamtsystem integriert werden.

Quellenangaben:

Was haben wir bei der Elektrifizierung der Busse gelernt?

Erkenntnisse aus den ersten Jahren des Betriebs von E- Bussen:

- Das Fahren mit E- Bussen ist unproblematisch.
- Die redundante Versorgung der Betriebshöfe mit ausreichend elektrischer Energie für große Flotten stellt eine Herausforderung dar.
- Gerade im ländlichen Raum ist eine ausreichende Anbindung an das Stromnetz kaum umsetzbar.
- Die Vorlaufzeiten für die Anbindung von Betriebshöfen an das Stromnetz sind teilweise sehr lang.
- Nationale Wasserstoffstrategie: Es darf nur „grüner“ Wasserstoff verwendet werden.
- Die Versorgung mit Wasserstoff über Trailer für kleinere Flotten (ca. 10 E- Busse mit H₂- BZ) ist unproblematisch.
- Auf Grund der großen Sicherheitsabstände ist die Errichtung einer leistungsfähigen Tankinfrastruktur für Wasserstoff für größere Flotten über Trailer im städtischen Umfeld nicht realisierbar (Pipeline notwendig).

Wo geht die Reise hin?

Wie wird die Elektrifizierung der Stadtlinienbusse weiter gehen?

- Der ÖV bietet auch weiterhin umweltfreundliche und energieeffiziente Mobilität an. Es ist zu erwarten, dass 90 % der Stadtlinienbusse auf batterieelektrischen Antrieb umgestellt werden.
- Es ist noch nicht klar in wie weit zukünftig Stadtlinienbusse mit Euro VII Diesel- Verbrennungsmotor noch angeboten werden.
- Der Umbau der Betriebshöfe und die Errichtung der Ladeinfrastruktur wird mit Hochdruck vorangetrieben.

Wir unterstützen das Ziel der Bundesregierung bis 2045 emissionsfrei zu sein



Quellenangaben:
Internetseiten SSB und KVB,
Christoph Seelbach KVB

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Reitmeier
Fachbereichsleiter Betriebshöfe und Werkstätten
und Elektromobilität

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)
Kamekestraße 37 – 39 | 50672 Köln

M 0163 57979-39

reitmeier@vdv.de | www.vdv.de