

E-Busse in Deutschland: Status und Perspektive

Erste Erfahrungen aus der Begleitforschung Bus des BMVI

Dr. Michael Faltenbacher, Leinfelden-Echterdingen

Mobilität ist Teil unserer Daseinsvorsorge. Dabei gilt es, geeignete Mobilitätskonzepte gleichermaßen für Ballungsgebiete und ländliche Regionen bereitzustellen. Für die Mobilitätskonzepte der Zukunft spielt der Öffentliche Personen-Nahverkehr (ÖPNV) eine zentrale Rolle, sowohl in der Stadt als auch auf dem Land.

Bei den Busflotten des ÖPNV stellen dieselbetriebene Busse seit Jahrzehnten den Stand der Technik dar. Vor dem Hintergrund steigender Anforderungen hinsichtlich der Luftqualität, der Lärminderung und des Klimaschutzes in Innenstädten steigt jedoch die Nachfrage nach alternativen Antriebsformen. Besonders in Großstädten gibt es intensive Bestrebungen, die Fahrbetriebsemissionen der Busflotten zu minimieren. So haben sich eine Reihe von Städten in Deutschland zum Ziel gesetzt, ihre Busflotten überwiegend oder vollständig auf emissionsfreie Antriebe umzustellen. Die (Teil-)Elektrifizierung des Antriebsstranges von Nahverkehrsbussen stellt dabei die derzeit vielversprechendste Technologieoption für eine emissionsärmere/-freie Zukunft des straßengebundenen ÖPNV dar.

Parallel dazu wird durch die überarbeitete Clean Vehicle Directive (CVD) der EU, die bis August 2021 in nationales Recht umzusetzen ist, eine verbindliche Quote an sauberen und emissionsfreien Bussen vorgegeben, die für den ÖPNV neubeschafft werden. So sind ab 2. August 2021 in Deutschland 45 Prozent „saubere“ [1] Busse zu beschaffen. Die Hälfte davon, also mindestens 22,5 Prozent der Neuzulassungen, müssen „emissionsfreie“ Antriebe aufweisen. Diese Quoten werden im Januar 2026 nochmals erhöht, und zwar auf 65 Prozent saubere und 32,5 Prozent emissionsfreie Antriebe.

Somit stehen derzeit viele deutsche Verkehrsunternehmen vor der Aufgabe, einen

systematischen Übergang vom etablierten dieselbasierten innerstädtischen ÖPNV hin zu umwelt- und klimafreundlichen elektrischen Antrieben zu realisieren. Dieses stellt einen grundlegenden Wechsel mit nachhaltigen Konsequenzen und Risiken hinsichtlich der Qualität der Verkehrsleistungen und der Wirtschaftlichkeit des ÖPNV-Angebotes dar. Die Umstellung auf elektrisch angetriebene Busse bezieht sich nicht nur auf die Auswahl geeigneter Fahrzeuge, sondern erfordert ein Systemkonzept, welches auch die Energieversorgung sowie geeignete Instrumente zur Betriebssteuerung und Überwachung einschließt. Welches System am besten geeignet ist, ist abhängig von den jeweiligen Anforderungsprofilen der Verkehrsunternehmen (Fahrgastaufkommen, Verkehrsdichte, Stadtstruktur (Klein-, Mittel- und Großstädte bis hin zu Metropolen und Metropolregionen, Anbindung an die Vororte und ländliche Räume) und betriebliche und technische Rahmenbedingungen (Taktfrequenz, benötigte tägliche Reichweite, Verfügbarkeit von Flächen, Energiebedarf des Busses et cetera)).

Um Betreiber bei dieser Umstellung zu unterstützen, stellt die Bundesregierung, genauso wie die meisten Bundesländer und die Europäische Union, Fördermittel für die Beschaffung von elektrisch angetriebenen Bussen und der dazugehörigen Ladebeziehungsweise Wasserstoff (H₂)-Tankinfrastruktur bereit. Weiterhin schafft die Bundesregierung mit der gemeinsam von Bundesverkehrs- (BMVI) und Bundesumweltministerium (BMU) initiierten Arbeitsgruppe Innovative Antriebe Bus (kurz AG Bus) eine Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Verkehrsunternehmen, Herstellern, Forschungsinstitutionen und den beteiligten Bundesministerien.

Flankierend zu seinen Förderprogrammen hat das BMVI ein Konsortium [2] unter

Leitung der thinkstep AG mit der Durchführung einer Begleitforschung beauftragt. Die Koordination auf programmatischer Ebene für das BMVI wird von der NOW GmbH wahrgenommen. Das Ziel der Begleitforschung ist zum einen die detaillierte Analyse und Bewertung im Einsatz befindlicher Busse mit alternativen Antrieben unter Einbeziehung von nutzungsspezifischen Daten und unter Berücksichtigung der Anforderungen an Infrastrukturen, Wirtschaftlichkeitsfragen, den Betrieb und Akzeptanzthemen. Zum anderen soll eine Entscheidungshilfe zur Unterstützung der Verkehrsunternehmen und Aufgabenträger bereitgestellt werden. Dieses soll Hilfestellung leisten, bei der Auswahl des richtigen Gesamtkonzepts für elektrisch angetriebene Busse im jeweiligen Liniennetz. Das entwickelte Softwaretool ist dabei als Hilfe und kriteriengestützte Ersteinschätzung bei der Bewertung verschiedener Buskonzepte für den eigenen Betrieb angelegt. Es erhebt bewusst nicht den Anspruch, eine objektive und für jeden Standort gültige Detailentscheidung zu erreichen. Die Ergebnisse der Begleitforschung werden im Rahmen der AG Bus regelmäßig vorgestellt, so dass die Teilnehmer stets über den aktuellen Stand der Umsetzung bei den einzelnen Betreibern, die Praxistauglichkeit der eingesetzten elektrischen Bussysteme und die erreichbaren Umwelt- und Klimaschutzvorteile der einzelnen Antriebstechnologien informiert sind.

Untersuchungsrahmen

Konkret bilden 43 Förderprojekte bei 41 Verkehrsbetreibern mit 277 E-Bussen, die vom BMVI im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität gefördert werden, den Untersuchungsrahmen der Begleitforschung Bus. Davon sind 241 Busse mit batterieelektrischem und 36 mit Brennstoffzellenantrieb (BZ) ausgestattet. Darüber hinaus werden derzeit vom BMU rund 530 Busse

bei elf Verkehrsbetrieben gefördert. Weitere Förderbescheide sollen zeitnah für weitere Verkehrsbetriebe erteilt werden, so dass das BMVI die Beschaffung von insgesamt voraussichtlich rund 750 Batteriebusen mit zugehöriger Ladeinfrastruktur fördern wird.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht zu den BMVI geförderten Projekten. Weitere Angaben zu den einzelnen Projekten finden sich in der Projektbroschüre, die unter <https://starterset-elektromobilitaet.de/Bausteine/OEPNV/> verfügbar ist. Die Broschüre beinhaltet sogenannte Projektstammdatenblätter, die in übersichtlicher Form die wesentlichen Informationen zum jeweiligen Projekt wiedergeben (Abb. 1 rechts). Die Projektübersicht wird entsprechend dem Fortschritt der einzelnen Vorhaben weiter vervollständigt, um zukünftig eine möglichst vollständige Übersicht über die vom Bund geförderten Projekte zu geben.

Nachfolgend werden erste beispielhafte Auswertungen zu den batterieelektrischen Bussen dargestellt. Neben einem Überblick zu den gewählten Ladekonzepten sowie den Reichweitenanforderungen der geförderten Betreiber wird die Verfügbarkeit am Beispiel der sechs Batteriebusse, die



Zum Autor

Dr. Michael Faltenbacher (46) ist seit 2006 bei der thinkstep AG und als Teamleiter verantwortlich für den Bereich Transport und Mobilität. Mit mehr als 20 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet der ökologischen und ökonomischen Bewertung von Transport- und Energiesystemen verfügt er über umfassendes Know-How zu alternativen Kraftstoff- und Antriebstechnologien für Kraftfahrzeuge. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf lebenszyklusbasierten Umwelt- und Kostenbetrachtungen von E-Fahrzeugen, angetrieben mit Batterie und/oder Brennstoffzelle. Im Busbereich koordiniert er seit 2010 im Auftrag der Bundesregierung die Begleitforschung Bus.

seit Februar bei der rnv (Rhein-Neckar-Verkehr) in Mannheim und Heidelberg im Einsatz sind sowie der Energieverbrauch anhand des seit Mitte 2018 bei der VAG (Verkehrs-AG) in Nürnberg im Einsatz befindliche Batteriebus betrachtet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass von den geförderten Bussen aktuell die ersten Fahrzeuge in den Betrieb kommen, so dass die Datenerfassung für die Fahrzeuge in den einzelnen Projekten noch am Anfang steht.

Nachladekonzept E-Busse

Während bei den vom BMVI geförderten Projekten der Schwerpunkt auf dem depotbasierten Laden liegt (39 von 41 Betreibern nutzen diese Form der Nachladung), haben sich bei den bisher elf BMVI geförderten 45

Prozent der Betreiber mit 35 Prozent der Busse für ein kombiniertes Ladekonzept mit Gelegenheitsladung auf der Strecke, üblicherweise an den Linienendhaltepunkten, entschieden. Ein Verkehrsbetrieb verzichtet auf das Nachladen im Depot und lädt ausschließlich an den Ladepunkten auf der Strecke. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der gewählten Ladekonzepte über die aktuell vom Bund geförderten Projekte.

Reichweitenanforderung der Betreiber

Im Rahmen der Begleitforschung Bus wurden bei den Betreibern die betrieblichen Anforderungen für den Einsatz von E-Bussen abgefragt. Ein Aspekt stellt dabei die aus Sicht der Betreiber erforderliche Reich-

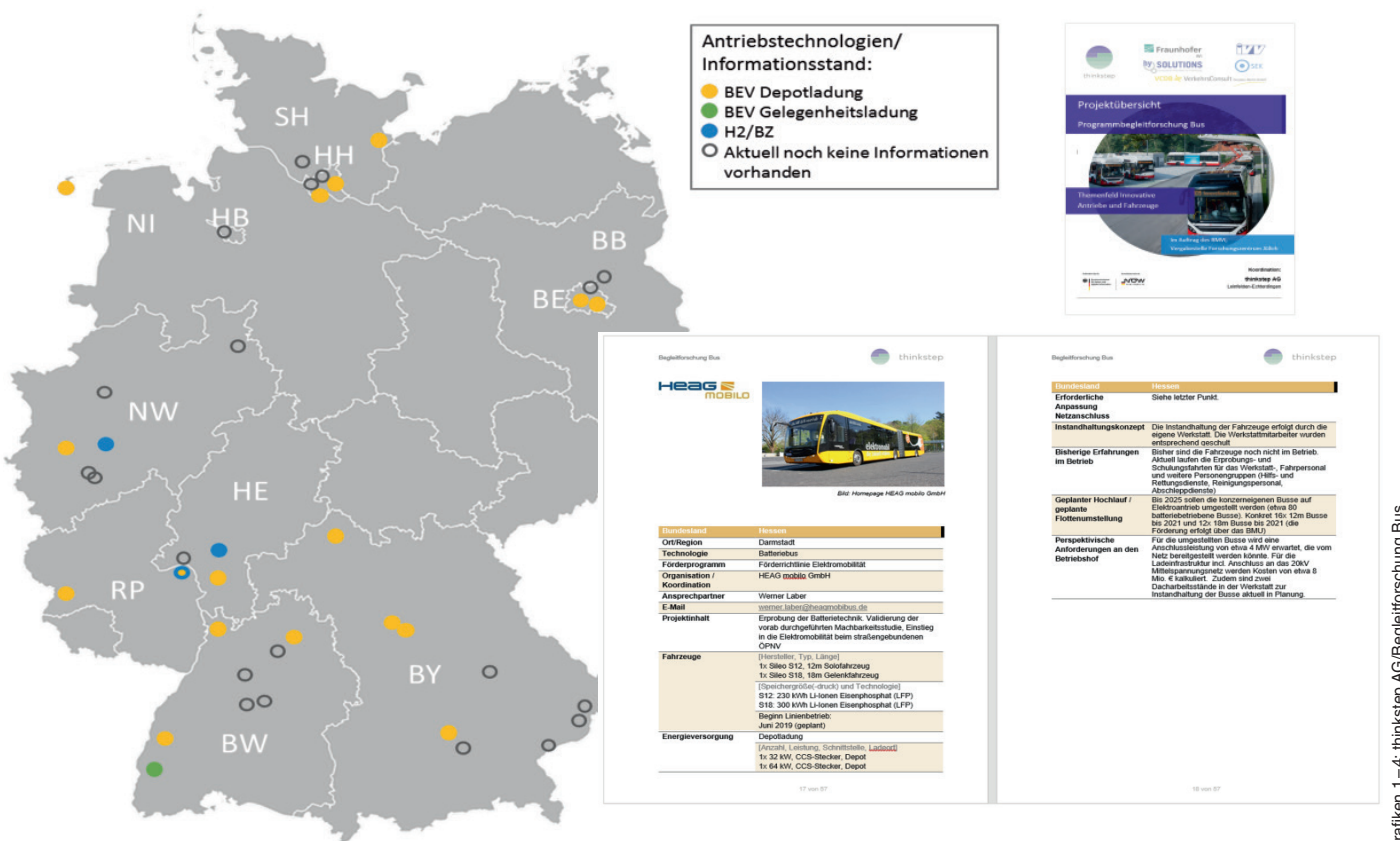


Abb. 1: Deutschlandkarte mit vom BMVI geförderten E-Bus-Projekten und Projektdatenblatt (Beispiel).

Grafiken 1 – 4: thinkstep AG/Begleitforschung Bus

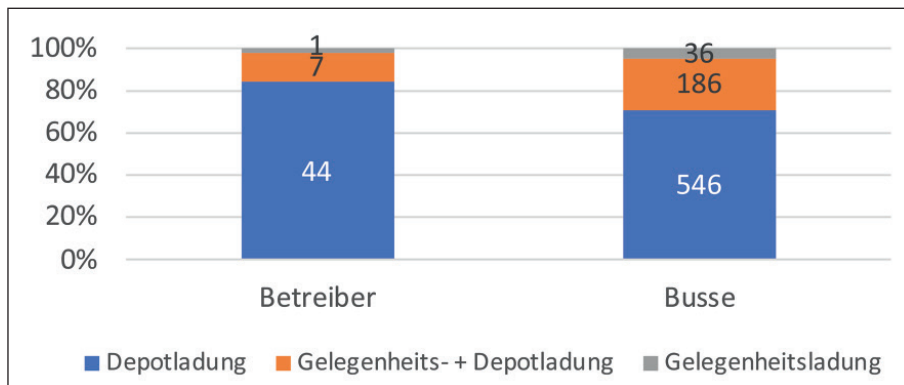


Abb. 2: Verteilung Ladekonzepte in den vom Bund geförderten Batteriebusprojekten.

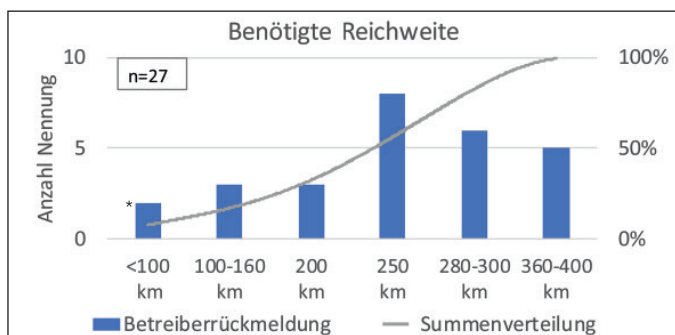


Abb. 3: Reichweitenanforderungen.

* 2 Verkehrsbetriebe gaben Reichweiten von weniger als 100 km als ausreichend an. Hierbei handelt es sich um einen Verkehrsbetrieb mit Gelegenheitsladen als Ladekonzept, beim anderen Verkehrsbetrieb handelt es sich um den Einsatz der BEV Busse auf dem Flughafenvorfeld. Dies erklärt die auf den ersten Blick eventuell überraschend niedrigen Reichweitenanforderungen.

weite der E-Busse dar. Wie Abbildung 3 zeigt, benötigen 81 Prozent der 27 antwortenden Verkehrsbetriebe eine Reichweite von mindestens 200 km, der Großteil (63 Prozent) fordert eine Reichweite von 200–300 km, immerhin noch knapp ein Fünftel (19 Prozent) sieht eine Reichweite von mehr als 360 km als erforderlich an.

Für die BZ-Busse gibt es bisher drei Rückmeldungen. Hier liegen die Reichweitenanforderungen gleichmäßig verteilt bei 250, 300 und 400 km.

Verfügbarkeit

Zur Verfügbarkeit liegen beispielhaft erste Daten für sechs batterieelektrische Busse vor, die bei der rnv in Heidelberg und Mannheim seit Februar 2019 im Einsatz sind. Mit einem Wert von durchschnittlich 83 Prozent Verfügbarkeit [3] für den Zeitraum Februar bis August 2019 (Abb. 4) werden die Erwartungen an die Verfügbarkeit der rnv voll erfüllt. Diese liegt während der Einführungsphase für die rnv bei mindestens 80 Prozent. Die bisherigen Ausfallgrün-

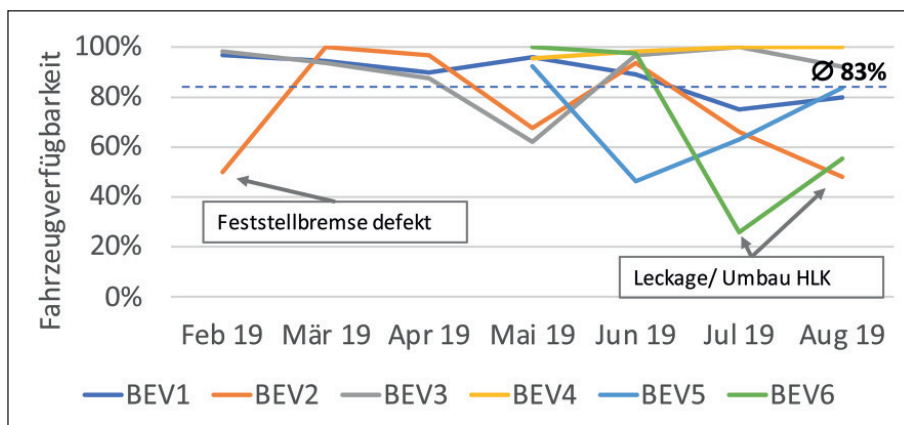


Abb. 4: Verfügbarkeit der momentan in der Datenerfassung befindlichen BEV-Busse.

de waren in diesem Beispiel eine defekte Feststellbremse zu Beginn und Leckagen und die damit verbundenen Umrüstungen beim Hersteller am Klima (HLK)-System bei zwei Bussen im Juli und August. Somit lagen keine BEV-spezifische Defekte vor, sondern vielmehr die bei der Einführung eines neuen Fahrzeugtyps typischerweise auftretenden Mängel. Laut rnv ist die Verfügbarkeit seit der Umrüstung verbessert.

Energieverbrauch

Abbildung 5 zeigt beispielhaft den Energieverbrauch des bei der VAG in Nürnberg eingesetzten 12-m-batterieelektrischen Busses von März 2018 bis Juli 2019. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Fahrzeug mit einem voll-elektrischen Heizungssystem ausgestattet ist. Entsprechend lässt sich der Einfluss der Heizperiode auf den Energieverbrauch erkennen. Sortiert man die vorhandenen Verbrauchswerte entsprechend der mittleren Tagestemperatur, ergibt sich die rechts in Abbildung 5 zu erkennende typische „Badewannen“-Kurve mit um gut 80 Prozent höheren Verbräuchen bei Temperaturen unter 0 °C und einem Drittel höheren Verbräuchen bei Temperaturen über 30°C gegenüber dem energetischen „Sweetspot“ bei 15–19°C mittlerer Außentemperatur.

Fazit und Ausblick

Im Artikel wurden erste Auswertungen zu den Betriebserfahrungen im Rahmen der aktuell vom Bund geförderten Projekte präsentiert. Zukünftig können mit steigender Datenverfügbarkeit weiterführende Auswertungen im Rahmen der Begleitforschung Bus zu den Themen Praxistauglichkeit, ökonomische und ökologische Performance der implementierten E-Bussysteme durchgeführt werden, die dann der Fachwelt zum Beispiel an dieser Stelle zugänglich gemacht werden.

Ein weiterer Schub für den E-Busmarkt ist über die eingangs erwähnte CVD zu erwarten, die bis spätestens August 2021 in nationales Recht zu überführen ist. Die Federführung hierzu liegt beim BMVI. Um einen Eindruck für die zur Erfüllung der CVD benötigten Fahrzeugstückzahlen zu bekommen, bietet sich ein Blick auf den aktuellen Bestand und die Bestandsentwicklung (teil) elektrifizierter Busse [4] in Deutschland an (Abb. 6). Im Juli 2019 waren insgesamt 1051 Omnibusse mit (teil)elektrischem Antrieb zugelassen. Batterieelektrische Busse haben dabei einen Anteil von knapp 29 Pro-

Elektrobuskonferenz und Fachmesse

Mit dem aktuellen Stand der Einführung von Elektrobusen befasst sich ausführlich die 11. VDV-Elektrobuskonferenz am 4. und 5. Februar 2020 in Berlin. Parallel dazu findet am gleichen Ort die Fachmesse ElekBu statt.

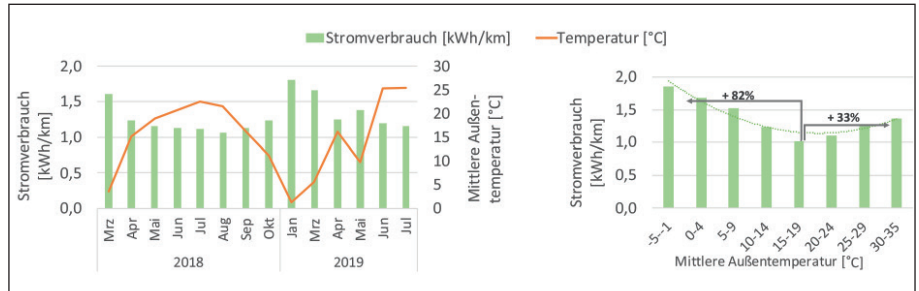


Abb. 5: Energieverbrauch in Abhängigkeit der Außentemperatur.

zent, O-Busse liegen bei zirka acht Prozent und BZ-Busse bei gut einem Prozent.

Legt man einen Bestand in Deutschland von gerundet 40.000 Stadtbussen und einer durchschnittlichen Haltedauer von 12–13 Jahren zugrunde, ergibt sich im ersten Schritt für die Erfüllung des ab August 2021 geforderten 22,5-Prozent-Anteils emissionsfreier Busse an den Neuzulassungen ein jährlicher Bedarf von 700 bis 750 emissionsfreien Bussen. Dies entspricht in etwa dem aktuellen Bestand an Hybridbussen in Deutschland. Dieser wurde wohlgerneht über einen Zeitraum von rund acht Jahren aufgebaut. Vor dem Hintergrund, dass ab Anfang 2026 jährlich sogar 1000 bis 1100 [5] emissionsfreie Busse zur Erfüllung der dann gültigen Neuzulassungsquote erforderlich sind, wird die Dynamik erkennbar, die in den kommenden Jahren für den Markt der emissionsfreien Busse erwarten werden kann und zur Einhaltung der CVD erforderlich ist. Nach dem derzeitigen Stand kommen zur Erfüllung der Quote batterieelektrische Busse, Brennstoffzellen- oder Oberleitungsbusse in Frage. Busse mit H₂-Verbrennungsmotor erfüllen ebenfalls die Anforderungen der CVD für emissionsfreie Busse, allerdings ist abzuwarten, wie sich die Verfügbarkeit solcher Fahrzeuge (zum Beispiel von Keyou) weiterentwickelt.

Im Kontext der Umsetzung der CVD ist es ferner wünschenswert, die Anwend-

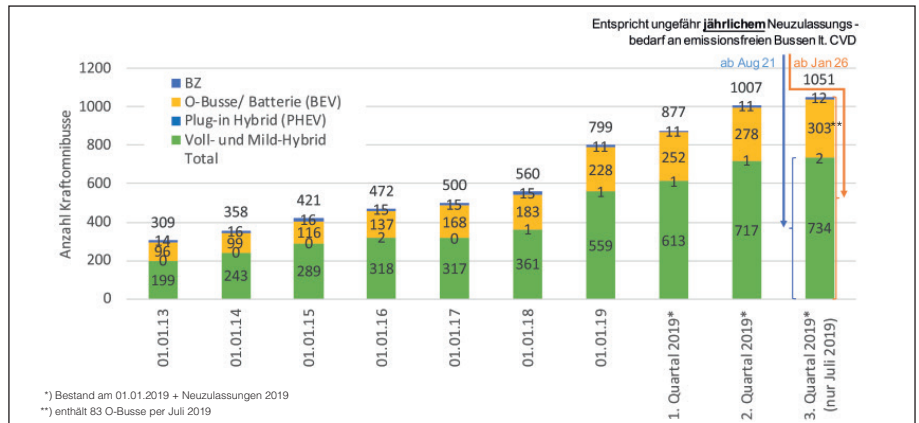


Abb. 6: Bestand und Neuzulassungen Omnibusse.

barkeit auf bereits vergebene ÖPNV-Aufträge entsprechend der EU Verordnung Nr. 1370/2007 zu prüfen bzw. sicherzustellen, damit der Grundgedanke der CVD, die weitere Stärkung der Umweltfreundlichkeit

des Öffentlichen Personennahverkehrs, von allen beteiligten Akteuren in Politik, Verwaltung und Verkehrsbetrieben so schnell wie möglich in die Tat umgesetzt wird.

Literatur/Anmerkungen

- [1] Zur Gruppe der „sauberen Fahrzeuge“ laut CVD gehören: Diesel-Plug-in-Hybride sowie Fahrzeuge, die mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden. Dies umfasst Elektrizität, Wasserstoff (H₂), Biokraftstoffe, synthetische und paraffinhaltige Kraftstoffe, Erdgas und Flüssiggas (Details siehe EU Richtlinie 2019/1161 vom 20. Juni 2019). Als „emissionsfreie“ Busse im Sinne der CVD gelten batterieelektrische Busse (BEV), Oberleitungsbusse (O-Bus ohne verbrennungsmotorische betriebenen Range Extender), wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenbusse (BZ) entweder mit BZ als Hauptenergiequelle oder als zusätzliche Energiequelle für batterieelektrische Busse als Range Extender (BZ Rex) sowie wasserstoffbetriebene Busse mit Verbrennungsmotor (H₂VM).
- [2] Neben thinkstep sind HySOLUTIONS, VCDB, IVW Aachen, Fraunhofer IVI und SEK Consulting Konsortialpartner.
- [3] Die Verfügbarkeit ist der Quotient aus den tatsächlichen und den planmäßigen Betriebsstunden.
- [4] Es werden auf Basis KBA-Daten vier Antriebstechnologien unterschieden: Hybrid (inkl. Mildhybrid wie sie beispielsweise als „Compacthybrid“ von EvoBus angeboten werden), Plug-In-Hybrid, batterieelektrisch (BEV) und Brennstoffzelle (FCELL). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Kategorie Elektro-BEV 83 Oberleitungsbusse beinhaltet (Stand: Juli 2019).
- [5] Dies ist größenordnungsmäßig mit dem über die letzten rund acht Jahre aufgebauten Gesamtbestand an Bussen mit (teil-) elektrischem Antrieb vergleichbar.

Zusammenfassung/Summary

E-Busse in Deutschland: Status und Perspektive

Es werden die Inhalte und Ziele der Begleitforschung Bus des BMVI zur ganzheitlichen Bewertung der Praxistauglichkeit und Einsatzreife der implementierten E-Bussysteme sowie die gemeinsam von BMU und BMVI initiierte Arbeitsgruppe Bus als Plattform für den Erfahrungsaustausch vorgestellt. Erste Auswertungen zu Betriebserfahrungen im Rahmen der aktuell vom Bund geförderten Projekte werden präsentiert. Ein weiterer Schub für den E-Busmarkt ist über die Clean Vehicle Directive mit ihren verbindlichen Neubeschaffungsquoten für saubere und emissionsfreie Busse zu erwarten.

Electric buses in Germany: status and perspectives

The contents and objectives of the accompanying research on electric buses for the German Federal Transport Ministry (BMVI) are presented. It focuses on the holistic evaluation of the technological and operational readiness of the deployed E-bus systems. First initial evaluations of operating experiences from projects currently funded by the Federal Government are presented. The accompanying research on E-buses is part of the working group „Innovative drivetrain for buses“, which was initiated jointly by the federal ministries for the environment (BMU) and transport as a platform for the exchange of hands on experiences from daily operation between the different stakeholders. Another boost for the e-bus market is to be expected via the European Clean Vehicle Directive with its binding new purchase quotas for clean as well as zero-emission buses.