

Nahverkehrs

PRAXIS

Special
Elektromobilität

Plattform für
moderne Mobilität



 Doppelmayr

UITP KONGRESS 2025

Die ÖPNV-Welt zu Gast in Hamburg

IM INTERVIEW: OLIVER WITKE

Vollgas für die Verkehrswende im VRR

AUS EINS MACH DREI

Nutzwert des ÖPNV übersteigt
Kosten um Faktor Drei

ELEKTRIFIZIERUNG DES BUSVERKEHRS IN FRANKFURT AM MAIN

Strategische Herausforderungen und praktikable Lösungen

Seit 2016 arbeitet traffiQ, die lokale Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt am Main an der Gestaltung und Umsetzung eines vollständig elektrischen und emissionsfreien Busverkehrs für die Stadt. Mit der Elektrifizierungsstrategie entschied sich die Stadt Frankfurt am Main 2018 letztlich für einen Mix aus Batterieelektrik und Brennstoffzelle – mit der Intention, weiterhin flexibel und technologieoffen zu bleiben. Ein Rückblick über den gesamten Prozess, von der ersten Idee über Hindernisse bis zur Umsetzung.



Foto: traffiQ/Vogler 2025

Das auffällige „Stromer-Design“ macht auch den Fahrgästen bewusst: Frankfurt fährt umweltbewusst.

Nach einer ersten, durch das Land Hessen geförderten „eCoach“-Initialberatung wurde in Zusammenarbeit mit der In-der-City-Bus GmbH (ICB), der Mainova, Fraport und der Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main (VGF) die Eignung der Frankfurter Buslinien 32, 33, 35, 62 und 75 für den Einsatz elektrischer Busse untersucht. Die Analyse, durchgeführt vom Ingenieurbüro Emcel GmbH, ergab, dass alle fünf Linien – mit teils notwendigen Anpassungen – grundsätzlich für eine Elektrifizierung geeignet sind. Besonderes Potenzial für ein erstes

Pilotprojekt zeigte die Übernachtladung. Eine Auswertung aller Umläufe ergab, dass sich dieses Ladekonzept für mehrere Linien als praktikabel erwies. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde im April 2018 ein umfassendes Umsetzungskonzept zur Einführung alternativer Antriebstechnologien erarbeitet. Betrachtet wurden die Brennstoffzellentechnologie, die Übernachtladung sowie die Gelegenheitsladung entlang der Strecke. Daraus wurden fünf mögliche Szenarien für die Elektrifizierung der gesamten Frankfurter Busflotte von ur-

sprünglich rund 330 Fahrzeugen entwickelt:

- Szenario 1: 100 Prozent Brennstoffzellentechnologie
- Szenario 2: 100 Prozent Übernachtladung
- Szenario 3: 100 Prozent Gelegenheitsladung an der Strecke
- Szenario 4: Mischkonzept Brennstoffzelle und Nachtladungstechnik
- Szenario 5: Mischkonzept Nachtladungstechnik und Schnellladung im Depot

Nach einem qualitativen und quantitativen Vergleich wurde Szenario 4 – eine Kombination aus Brennstoffzellentechnik und Übernachtladung – als besonders wirtschaftlich und flexibel empfohlen.

Parallel zur Erarbeitung des Umsetzungs-konzeptes wurde die Untersuchung auf neun weitere Stadtbuslinien ausgeweitet. Auch hier zeigte sich, dass alle Linien grundsätzlich für den Einsatz von Elektrobussen geeignet sind. Die Übernachtladungstechnik wurde vor allem für Linien mit Umläufen unter 200 Kilometern als passend identifiziert, während Brennstoffzellenbusse für längere Umläufe eine sinnvolle Ergänzung darstellten.

Ab Dezember 2018 wurden die ersten fünf Solaris Urbino 12 electric mit 240-kWh-Batterien als Pilotprojekt auf der Linie 75

eingesetzt. Die nötige Ladeinfrastruktur wurde auf dem Betriebshof Römerhof der ICB errichtet. Die Linie gilt als eine der ersten voll-elektrifizierten Linien in Deutschland und wird bis heute vollständig emissionsfrei betrieben. Der Ausbau des Frankfurter Nahverkehrsangebots mit Einführung von Express- und Metrobussen sowie einem neuen Nachtverkehr seit 2020 machte dann vor dem Hintergrund der dynamischen Marktentwicklung für batterieelektrische und Brennstoffzellenbusse eine kontinuierliche Anpassung der Elektrifizierungsstrategie für die Stadt notwendig. Vor allem zeitliche Aspekte waren zu berücksichtigen.

Faktor Wirtschaftlichkeit – Tendenz: gleichbleibend

Bei der Fahrzeugbeschaffung richten die Betreiber die Wahl der Antriebstechnologie

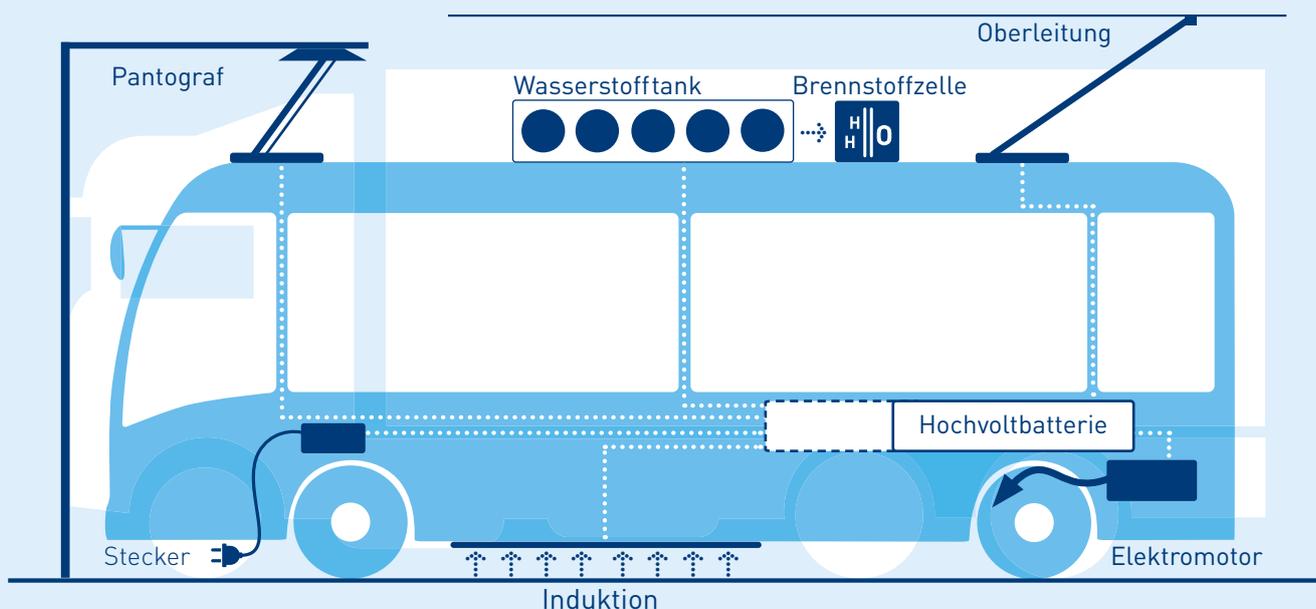
im Wesentlichen nach der Wirtschaftlichkeit. Für einen batterieelektrischen Standardbus liegen die Kosten seit Jahren konstant bei rund 500.000 Euro und damit weiterhin etwa doppelt so hoch wie bei seinem Dieselpendant. Die Wasserstoffvariante liegt mit bis zu 600.000 Euro preislich noch etwas darüber. Entsprechende Annahmen aus dem Elektrifizierungskonzept wurden demnach bestätigt, wobei es durchaus die Hoffnung gab, dass die Preise perspektivisch sinken würden. Dies ist bisher nicht der Fall und aufgrund der ungebrochen hohen Nachfrage auch auf absehbare Zeit nicht zu erwarten.

Betriebskosten- und Reichweitenentwicklung positiv

Positiv entwickelten sich hingegen die Betriebskosten von Batteriebussen, die inzwischen rund 40 Prozent unterhalb

Anzeige

EMCEL Beratung und Engineering
für die Energiewende



Mit EMCEL kommt Ihre Mobilitätswende in die richtige Spur.

Elektromobilität und Elektrifizierung von Nutzfahrzeug-Flotten – wir bieten Ihnen technologieoffene und herstellerunabhängige Beratung.

Ihr Ansprechpartner: Nicolò Queirazza, Tel: +49 (0) 221 29 26 95-213 | nq@emcel.com | www.emcel.com

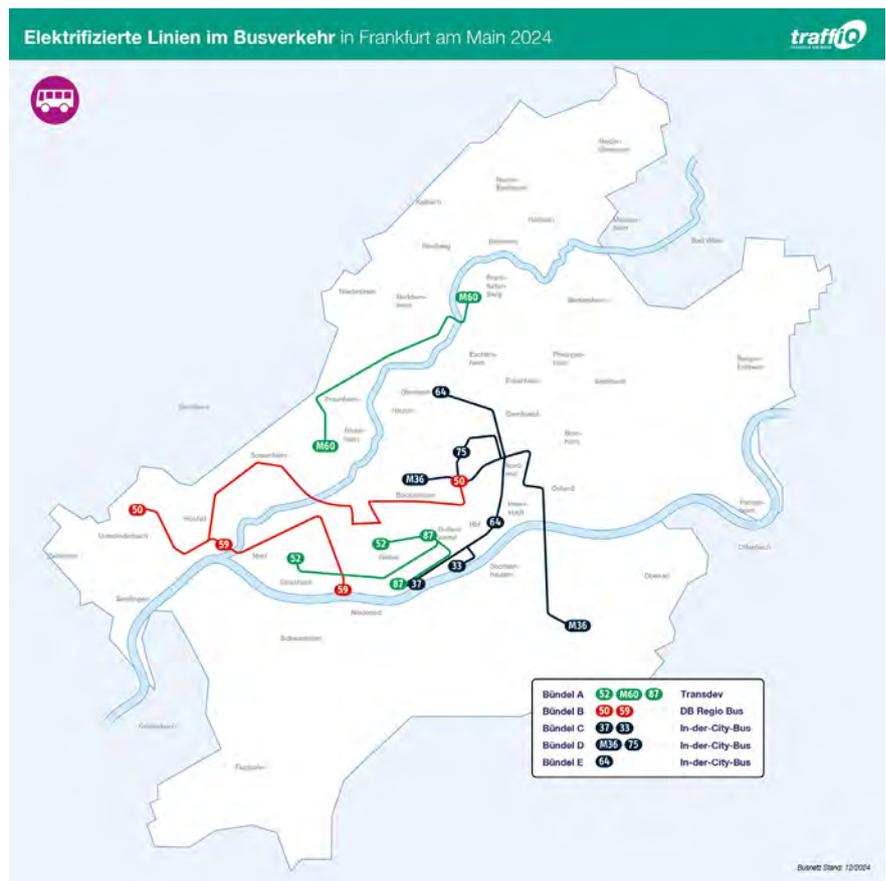


derer eines Dieselmotors liegen. Auch die Reichweiten der Fahrzeuge stiegen stärker an als ursprünglich erwartet und liegen im Betrieb, auch bei schwierigen Witterungsbedingungen, bei mittlerweile 250 bis 300 Kilometern und darüber. Gepaart mit einer optimierten Umlaufplanung konnte dadurch in Frankfurt, wie auch in der Strategie prognostiziert, ein Fahrzeugmehrabbedarf vermieden werden. Die Preise für Wasserstoff hingegen sanken in den vergangenen Jahren weniger stark als erwartet und Zielgrößen von vier bis fünf Euro pro Kilogramm, gerade bei grünem Wasserstoff, wurden bisher nicht erreicht. Dadurch ist der Betrieb aktuell mit deutlich höheren Kosten verbunden als der von Batterie- und Dieselfahrzeugen. Potenzial für Kostensenkungen und somit einen wirtschaftlicheren Betrieb von Wasserstoffbussen hält der geplante Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und der Europäischen Union bereit, der mit ehrgeizigen politischen Zielsetzungen für die kommenden Jahre versehen ist – wenn auch primär im Industriesektor.

Faktor Standort als zentrale Herausforderung

Die Umsetzung der Elektrifizierung wird maßgeblich durch den Aufbau der erforderlichen Infrastruktur für Elektrobusse beeinflusst. Die Verkehrsunternehmen sind für diesen Prozess in Frankfurt am Main selbst verantwortlich. Da die privatwirtschaftlichen Busunternehmen keinen direkten Zugriff auf städtische Flächen haben, gingen sie Kooperationen unter anderem mit Infraseriv im Industriepark Höchst und der Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH (FES) am Müllheizkraftwerk zur Errichtung von Betriebshöfen ein.

Die ICB, die rund die Hälfte der Frankfurter Busflotte betreibt, steht hingegen vor der Herausforderung, ihre beiden bestehenden Standorte in den nächsten Jahren wechseln zu müssen. Insbesondere der aus Gründen der Stadtentwicklung notwendige Umzug des Busbetriebshofs Römerhof der ICB beeinflusst die Pläne zur Flottenumstellung maßgeblich. Solange der neue Standort im Stadtteil Rödelheim nicht betriebsbereit ist, kann auch die



Der Frankfurter Nahverkehr ist bei der Wahl der Antriebsart technologieoffen, tendenziell zeichnet sich jedoch ein größerer Anteil an batterieelektrischen Bussen ab.

vollständige Elektrifizierung der heute rund 200 am Römerhof abgestellten ICB-Fahrzeuge nicht realisiert werden, da dort keine ausreichende Ladeinfrastruktur zur Verfügung steht, und eine Nachrüstung nun nicht mehr wirtschaftlich ist. Derzeit sind am Römerhof 16 batterieelektrische und 32 Brennstoffzellenbusse stationiert. Der neue Betriebshof in Rödelheim wird voraussichtlich im Jahr 2029 fertiggestellt sein und die anschließende Elektrifizierung größerer Stückzahlen erlauben.

Ausrollen der elektrifizierten Linien auf das Frankfurter Busnetz

Seit Dezember 2018 wird die Frankfurter Busflotte schrittweise auf Elektrobusse umgestellt. In der Anfangsphase wurden einzelne Linien ausgewählt, die sich aufgrund ihrer Umlauflängen dafür anbieten. Weiterhin spielte der Verlauf der Linien eine Rolle. Hier standen vor allem innenstadtnahe Linien aufgrund drohender Fahrverbote im Fokus. Die erste vollständige Umstellung eines Frankfurter Busbündels auf emissi-

onsfreie Antriebe sollte im Zuge der Neuvergabe des Bündels B bereits im Dezember 2022 erfolgen. Aufgrund der angespannten Finanzlage inmitten der Corona-Pandemie und einer unsicheren Förderkulisse wurden letztendlich jedoch nur 27 der insgesamt 85 Busse des Bündels umgestellt. Dies entspricht den Quoten der Clean-Vehicles-Directive, obwohl die Vergabe des Bündels B zeitlich noch nicht unter das entsprechende Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge fiel.* Die vollständige Elektrifizierung dieses Bündels wird demnach erst mit der erneuten Vergabe im Dezember 2032 möglich sein, was zugleich den Abschluss der nunmehr um zwei Jahre verzögerten Gesamtflottenumstellung in Frankfurt markiert.

Verhältnis Batteriebetrieb und Brennstoffzelle

Alles in allem hat sich das ursprünglich angestrebte Gleichgewicht zwischen batterieelektrischen- und Brennstoffzellenfahrzeugen mit circa 80 Prozent nun deutlich hin zur Batterietechnik verschoben.

ben. Wasserstofffahrzeuge hingegen werden mit etwa 20 Prozent einen wesentlich kleineren Teil der Frankfurter Flotte ausmachen. Aufgrund der weiterhin nur schwer abschätzbaren Entwicklungen bleibt der Frankfurter Nahverkehr bei der Wahl der Antriebsart technologieoffen, tendenziell zeichnet sich jedoch ein noch größerer Anteil an batterieelektrischen Bussen ab.

Erkenntnisgewinn und Erfahrungen

Mit der Elektrifizierungsstrategie entschied sich die Stadt Frankfurt am Main 2018 bewusst gegen ein sehr teures und aufwändiges Konzept mit Gelegenheitsladungen an der Strecke oder im Depot sowie gegen die Einführung noch komplexerer oberleitungselektrischer Fahrzeuge. Stattdessen fiel die Wahl auf einen Mix aus Batterieelektrik und Brennstoffzelle. Durch die anfängliche Wasserstoff-Betankung an einer externen Tankstelle und anschließend die Wahl einer

modularen Bauweise für die erste eigene Wasserstofftankstelle am Betriebshof Römerhof der ICB wurde die flexible Skalierung des Anteils von Brennstoffzellenbussen an der Flotte ermöglicht. Im Zuge der Elektrifizierung der Betriebshöfe und der zeitlich versetzten Bündelausschreibungen konnte so dynamisch auf die Entwicklungen der beiden Technologien und ihre Wirtschaftlichkeit reagiert werden.

Wird parallel zur Flottenumstellung auch ein neuer Betriebshofstandort benötigt, erhöht das die Komplexität des Vorhabens und das Risiko von Verzögerungen im zeitlichen Ablauf. Ein frühzeitiger Beginn der Flächensuche, Akquirierung und Betriebshofplanung ist somit essenziell, da freie Flächen, insbesondere in einer Großstadt wie Frankfurt am Main, kaum verfügbar sind. Auch in den kommenden Jahren werden die Kosten der primäre Fak-

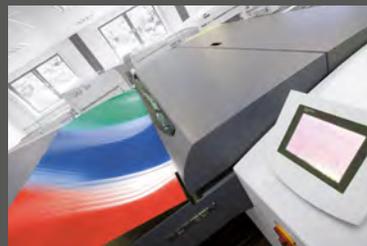
tor bei der Elektrifizierung der Busflotten und dem Umsetzungstempo sein. Unter dem Eindruck einer unsicheren Förderkulisse, schwankenden Energiepreisen und weiterhin hohen Kosten bleibt die Transformation herausfordernd. Aufgrund der ungebrochen hohen Nachfrage nach Elektrobussen und den hohen Aufwendungen in der Batterieentwicklung ist mit sinkenden Anschaffungskosten auch in den nächsten Jahren nicht zu rechnen. Vor diesem Hintergrund bleibt die Elektrifizierungsstrategie von Frankfurt weiterhin flexibel und technologieoffen.

Autoren: Magnus Machold,
Tobias Schreiber, Christian Wagner;
Frankfurt am Main;
Nicolò Queirazza; Köln

*(<https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>)

Anzeige

Die D+L Unternehmensgruppe



Ihr Medienpartner für Zeitschriften, Kataloge und Bedienungsanleitungen



Schlavenhorst 10
46395 Bocholt
Tel. 02871 2466-0
info@dul-print.de



dul-print.de

D+L
DRUCK+LOGISTIK

Integriertes System für dynamische FGI, AFZS, Videoüberwachung und WLAN



Digitale Ausgabe jetzt gratis testen!
Ihr Zugangscode: **TEST25**

- LEITTHEMA**
Individuelle Angebote
für den Fahrgast
- BARRIEREFREIHEIT**
Katalysator für Innovation
- MOBILITÄTSWENDE
ERFOLGREICH UMSETZEN**
Berufliche Mobilität neu gestalten

Jetzt überzeugen:

Lesen Sie die digitale Ausgabe der NahverkehrsPraxis völlig kostenfrei!
Tauchen Sie ein in die Welt des Nahverkehrs und laden Sie die aktuelle
Ausgabe noch heute auf Ihr mobiles Gerät:

www.nahverkehrspraxis.de/digital

