

**FuE-Programm "Erneuerbar Mobil" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)**

**Schlussbericht**

Vorhabenbezeichnung:

**„Pilotversuch mit drei Elektrobussen im Linieneinsatz mit Schnellladung am Endpunkt mit  
Strom aus der Oberleitung der Stadtbahn bei der ÜSTRA“**

Laufzeit des Vorhabens:

vom: 01.01.2014..... bis: 31.12.2017.....

Zuwendungsempfänger:  
*(Aufistung aller Verbundpartner)*

ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG  
Am Hohen Ufer 6, 30159 Hannover

Förderkennzeichen:  
*(FKZ's entsprechend der links angegebenen Verbundpartner)*

Förderzeichen: 16EM2046-1  
Förderzeichen: 16EM2046-2

## **Abschlussbericht zum Pilotprojekt mit drei Elektrobussen bei der ÜSTRA**

### **1. Zusammenfassung**

#### **Emissionsfreier Busverkehr für Hannover - Pilotversuch mit drei Elektrobussen im Linieneinsatz bei der ÜSTRA**

Mit ihrer Fahrzeugflotte nimmt die ÜSTRA bereits heute eine Vorreiterrolle in Deutschland und der Europäischen Union ein, bereits seit 2012 werden nur noch Hybridbusse beschafft, die mittlerweile größer 50% der Flotte ausmachen. Mit dem Pilotversuch mit drei Elektrobussen führt die ÜSTRA ihre Unternehmenspolitik für eine saubere Umwelt konsequent fort. Ziel der ÜSTRA ist es, langfristig in Hannover einen emissionsfreien Nahverkehr für Stadt und Region zu ermöglichen. Mit den Stadtbahnen der ÜSTRA ist ein emissionsfreier Nahverkehr bereits seit dem Jahr 2015 möglich, da die ÜSTRA nur noch Strom aus erneuerbaren Energiequellen einsetzt.

Im Rahmen des Pilotprojektes hat die ÜSTRA drei Solo-Batteriebusse des Herstellers Solaris sowie die zugehörige Ladeinfrastruktur beschafft und im Echtbetrieb auf einer Innenstadtlinie (Linie 100/200 in Hannover) eingesetzt. Der Einsatz der Busse dauert an und ist mit dem Abschluss des Projektes nicht beendet.

Sämtliche Nebenverbraucher (insbesondere auch die Heizung) des Busses werden elektrisch betrieben. Um auf der Linie 100/200 wie ein Dieselbus einsetzbar zu sein, sind die Busse mit einer Hochleistungsbatterie ausgestattet und werden am Endpunkt mit einer hohen Ladeleistung mittels eines Pantographen auf dem Busdach nachgeladen. Hierfür wird der Strom aus dem Netz der Stadtbahn genutzt.

Die ÜSTRA schafft damit den Einstieg in einen von Schadstoffemissionen und CO<sub>2</sub> freien Busbetrieb. Das bedeutet, dass die ÜSTRA nicht nur die Energieeffizienz der Stadtbusse deutlich verbessert, sondern auch die direkte Belastung der Bürger und Fahrgäste mit den gesundheitsschädlichen Schadstoffemissionen wie Stickoxid, Feinstaub um 100% reduziert.

Elektrobusse tragen dazu bei, auch in Ballungsgebieten die Lärmbelastung deutlich zu reduzieren. Mit diesem Projekt ordnete sich die ÜSTRA auch auf regionaler Ebene aktiv in die Klimaschutzpolitik, die Luftreinhalteplanung und den Lärmschutz in Hannover ein. Elektrobusse sind somit ein aktiver Beitrag zum Klimaschutzaktionsprogramm und dem Masterplan 100% für den Klimaschutz der Region Hannover.

Der Versuch mit drei Elektrobussen hat unsere Erwartungen voll erfüllt und uns motiviert den Weg mit Elektrobussen und dem Konzept der Schnellladung an den Endpunkten weiter zu gehen. Eine Projektskizze für 48 weitere Elektrobusse ist bereits auf den Weg gebracht.

## **Zusammenfassend:**

- Die im Pilotprojekt getestete Ladestrategie und das Betriebskonzept haben sich bewährt
- Die Zuverlässigkeit der Busse und Ladeinfrastruktur ist gut, aber die Zusammenarbeit mit den Herstellern und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sind deutlich zu verbessern
- Die Energiebilanz mit CO<sub>2</sub> freiem Strom funktioniert
- Der Energieverbrauch im Vergleich zu Dieseln ist um über 50% gesunken
- Die Akzeptanz bei Fahrgästen und Fahrpersonal ist sehr hoch
- Aufgrund der hohen Mehrkosten ist eine Ausrüstung weiterer Linien nur unter entsprechender Förderung wirtschaftlich vertretbar

Die genauen Ergebnisse finden Sie auf den kommenden Seiten.

## **2. Zielstellung des Verbundprojektes**

### **Assoziierte Projekt Partner:**



### **Der Pilotversuch mit drei Elektrobussen auf der Linie 100/200**

Zum Projektstart gab es keine serienreifen Elektrobusse auf dem Markt. Durch Pilotversuche in verschiedenen Verkehrsbetrieben sollte die Markt- und Serienreife der Elektrotechnologie vorangetrieben werden. Hierbei soll eine enge Zusammenarbeit mit den Herstellern diese in die Lage versetzen, in Zukunft zuverlässige Elektrofahrzeuge, die auf die Bedürfnisse der Betreiber abgestimmt sind, zu marktfähigen Preisen anzubieten.

Im Gesamtziel diente der Pilotversuch dazu, die Machbarkeit des Einsatzes von Elektrobussen zu prüfen, Erfahrungen zu sammeln und daraus Maßnahmen für ein Konzept für ein Rollout zu entwickeln.

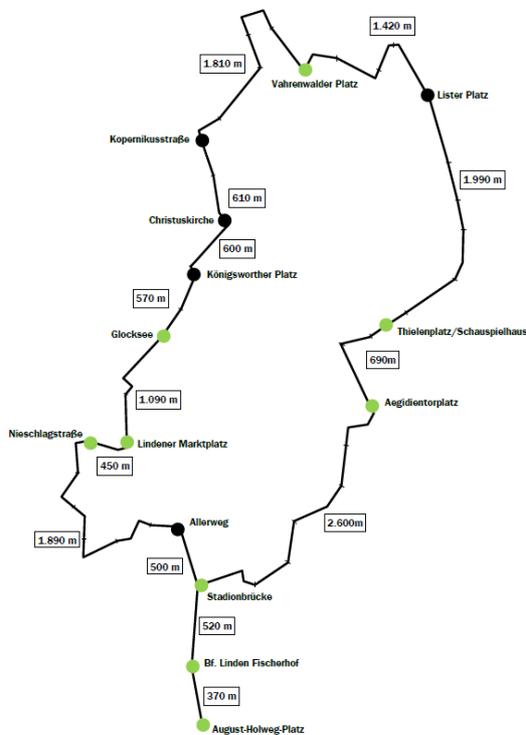
Die ÜSTRA hatte sich zum Ziel gesetzt, ein Konzept für den Betrieb mit Batteriebusen zu entwickeln und zu erproben, in denen die Batteriebusse die bisher eingesetzten Dieseln ohne Änderung des Betriebskonzeptes ersetzen können. Dies bedeutete, dass insbesondere die Fahrzeugumläufe nicht verändert werden sollten. Auch war es erforderlich, für den Test eine anspruchsvolle Linie auszuwählen, damit die Ergebnisse auch auf andere Linien übertragbar sind und dort keine neuen größeren Herausforderungen drohen.

Die Buslinie 100/200 ist durch die kurzen Haltestellenabstände und die Linienführung durch das Stadtzentrum mit die anspruchsvollste Linie im Liniennetz der ÜSTRA und wird auch nur mit Solobussen bedient (zum Projektstart waren überwiegend nur Solo-Batteriebusse verfügbar, so dass im Projekt auch nur Solobusse eingesetzt werden sollten. Gelenkbusse verfügen aufgrund des höheren zulässigen Gesamtgewichtes und der größeren Dachfläche auch über mehr Möglichkeiten, größere Batterien unterzubringen).

Die Line 100/200 verfügt aufgrund der Ringführung über nur einen Endpunkt. Die Elektrobusse werden im Linieneinsatz am August-Holweg-Platz mit Strom aus der Oberleitung der Stadtbahn nachgeladen. Durch die Fahrleitung der Stadtbahnen steht der Nachladeinfrastruktur eine hohe Energiemenge zur Verfügung, die eine Schnellladung der Elektrobusse möglich macht. Weiterhin sollte geprüft werden, wie der von den Stadtbahnen generatorisch erzeugte und zurückgespeiste Bremsstrom effektiv von den Elektrobusen genutzt werden kann.

Die Pilotlinie 100/200:

- Ringlinie (nur ein Endpunkt)
- tagsüber im 10 Min.-Takt
- ca. 55 Minuten Fahrzeit
- ca. 16 km Länge
- nur 12 m Busse
- es werden ca. 25 kWh (Sommer) bis 40 kWh (Winter) Energie für einen Umlauf benötigt
- Ladezeit max. 6 Minuten



**Nachladepunkt für Pilotversuch  
August-Holweg-Platz**

Die assoziierten Projektpartner Region Hannover als Aufgabenträger des Nahverkehrs und enercity Contracting GmbH, sind in das Projekt eingebunden und unterstützen finanziell und fachlich. Der Pilotversuch hat für die Region Hannover eine hohe Bedeutung, weil damit im Busliniennetz der ÜSTRA in Verbindung mit der Stromversorgung der Stadtbahn ganz konkret erprobt werden kann, ob die im Verkehrsentwicklungsplan ProKlima definierten ehrgeizigen Umweltziele der Region zur CO<sub>2</sub>-Minderung aber auch zur Vermeidung der die Gesundheit gefährdenden Emissionen wie Lärm und Feinstaub mit dieser neuen Technologie erreicht werden können.

Für die Frage, ob Elektrobusse zukünftig Bestandteil eines Stadtbusnetzes sein werden, sind neben den Umweltauswirkungen die Projektergebnisse hinsichtlich der Marktakzeptanz und der Wirtschaftlichkeit von großer Bedeutung.

Ein weiterer wichtiger Punkt des Projektes ist die Datenlieferung für eine Analyse der Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem Pilotversuch auf das gesamte Busliniennetz der ÜSTRA. Insbesondere sollte geklärt werden, wie viele Nachladepunkte zukünftig erforderlich sind und welche Auswirkungen das auf die Dimensionierung der Stromversorgung der Stadtbahn hat.

Außerdem sollten die Auswirkungen auf den Werkstattbetrieb hinsichtlich technischer Ausstattung, Personalbedarf und Qualifikationen analysiert werden.

Durch den Erfolg beim Pilotversuch mit Elektrobusen kann für den Hannoverschen ÖPNV ein Paradigmenwechsel beim Busbetrieb mit CO<sub>2</sub> freiem Strom erfolgen.

### **3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes**

#### **Vorplanung**

Im ersten Quartal 2013 fand die Abstimmung zum Projekt und der Finanzierung mit der Region Hannover als Aufgabenträger und Anteilseigner statt. Im zweiten Quartal 2013 fand die Vorbereitung der Projektskizze statt, die im Anschluss im dritten Quartal 2013 beim VDI/ VDE als Projektträger des BMUB für die „Richtlinien zur Förderung von Vorhaben im Bereich der Elektromobilität“ eingereicht wurde. Ende 2013 bekam die ÜSTRA die Förderzusage. Zeitgleich wurde in 2013 eine Markterkundung, Gespräche mit Herstellern sowie Exkursionen zu bereits laufenden Projekten durchgeführt.

Das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (iSEA) der RWTH Aachen wurde mit der Erstellung einer Anforderungsanalyse für den Einsatz von Elektrobusen auf der Linie 100/200 im Juni 2013 beauftragt. Ziel war es, für die Linien 100/200 die Größe der Batterie und die notwendige Ladeleistung zu ermitteln, mit denen die Elektrobusse gleichwertig zu Dieseln auf der Linie 100/200 eingesetzt werden können.

Im ersten Schritt wurde der Energiebedarf von Elektrobusen auf der Linie 100/200 ermittelt. Je nach Variation der Parameter (Besetzungsgrad, Heizung/Klimatisierung) wurde ein Energieverbrauch zwischen 1,1 kWh/km und 2,5 kWh/km berechnet.

### Szenario C und maximale Zuladung

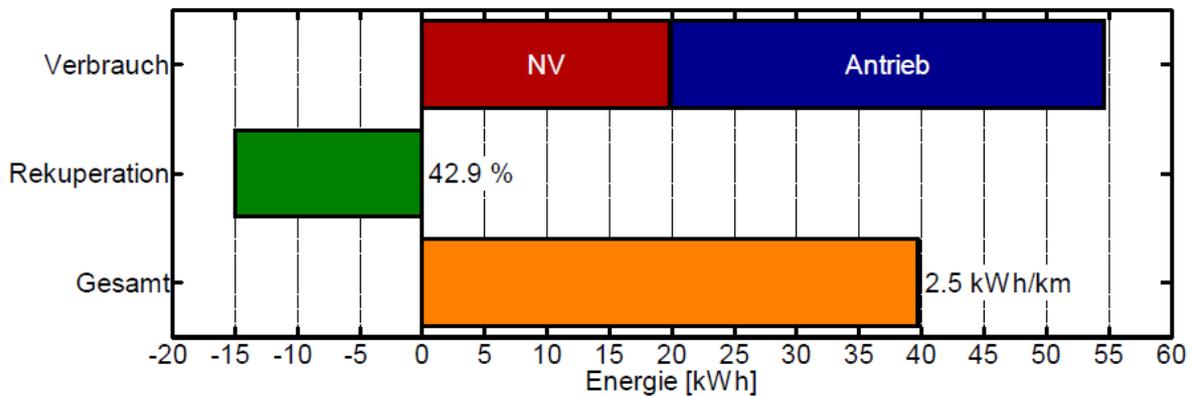
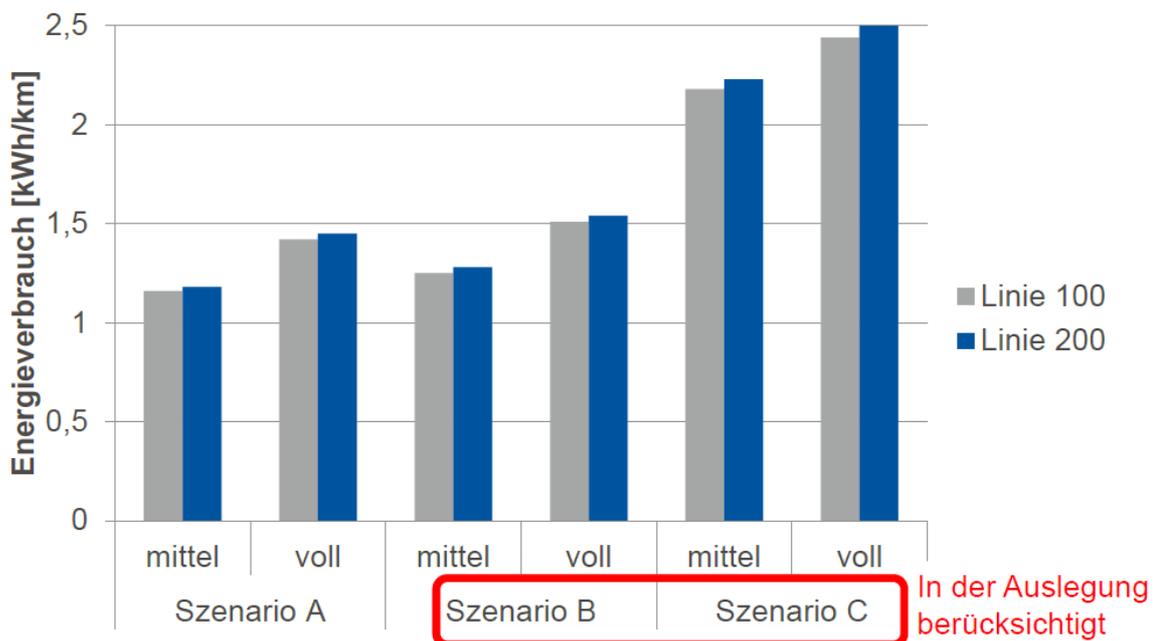


Abbildung 19: Energieverbrauch Linie 200 im Szenario C bei maximaler Zuladung

## Ergebnisse der Verbrauchsbestimmung Übersicht



Auf Basis dieser Energieverbräuche wurde eine Energiebilanzanalyse erstellt, um die Kapazität der Batterie sowie den Ladestrom zu dimensionieren. Hierbei ergab sich bei einer rein elektrischen Heizung eine notwendige Batteriekapazität von 157 kWh bei einer Ladeleistung von 495 kW am einzigen Endpunkt August-Holweg-Platz.

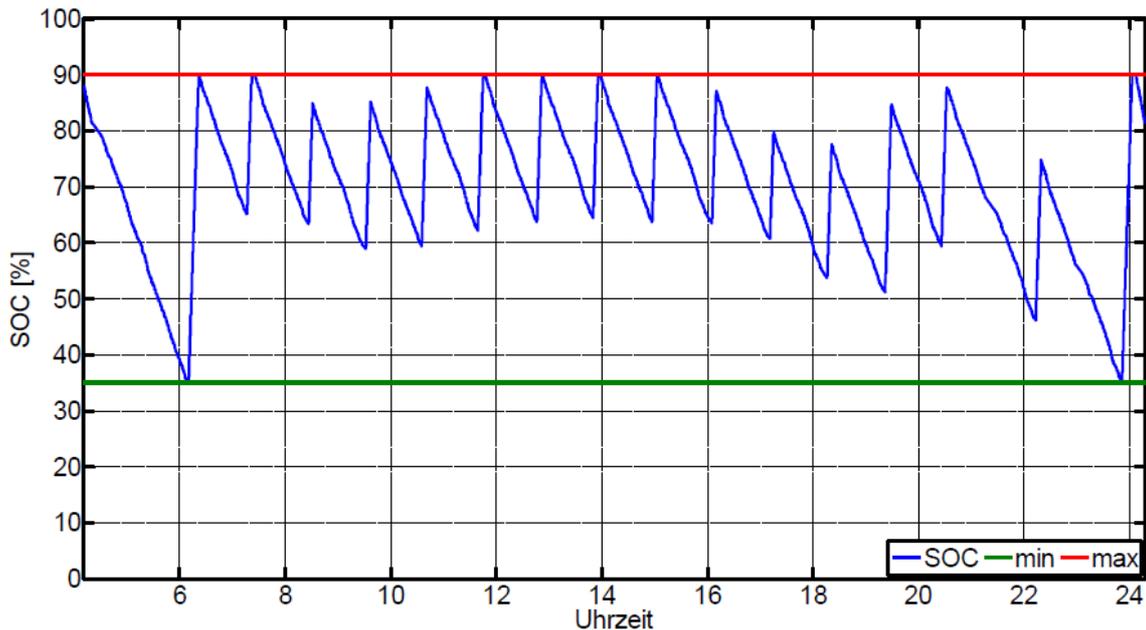


Abbildung 24: Verlauf des Ladezustands über der Zeit, Umlaufplan 4, Szenario C und maximale Zuladung, 157 kWh Batteriekapazität, 495 kW Ladeleistung

Der Abschlussbericht des iSEA wurde den Bietern im Rahmen der Ausschreibung zur Verfügung gestellt.

Im ersten Quartal 2014 wurde das Lastenheft erstellt und die Ausschreibung und Vergabe von Bussen und Ladeinfrastruktur vorbereitet.

In Teilen haben wir eine funktionale Ausschreibung durchgeführt mit der Vorgabe eines Generalunternehmers für die Busse und die Ladeinfrastruktur, um Schnittstellenprobleme zu vermeiden. Gefordert waren u.a.:

- drei batterieelektrische Solobusse, i.W. vergleichbar in Ausstattung und Komfort mit einem Dieselbus / Hybridbus
- Nachladung per Stecker auf den Betriebshöfen
- Nachladung per leitfähigem, oberirdischen Ladesystem auf Strecke
- elektrische Heizung, optional: andere CO<sub>2</sub>-neutrale Heizung
- Klimaanlage für den Fahrerarbeitsplatz
- Schnellladung am August-Holweg-Platz
- ein weiteres Ladegerät für den Anschluss eines Lademasten am Betriebshof Vahrenwald
- zwei bewegliche Stecker-Ladegeräte

Alle Bieter haben bei Ihren Angeboten im Grundsatz die Ergebnisse des iSEA bestätigt bzw. aufgegriffen.

Ende 2014 hat die Firma Solaris den Zuschlag für das Projekt erhalten. Das Angebot beinhaltete eine Batterie mit einer Kapazität von 125 kWh (5 Batteriepakete zu je 25 kWh, LTO) und einer

Ladeleistung am August-Holweg-Platz von 450 kW. Für die Ladung hatte Solaris das 5polige Kontaktierungssystem der FA Schunk (Pantograph auf dem Busdach, passive Ladehaube an einem Lademast) vorgesehen. Die Heizung der Busse war rein elektrisch über den konventionellen Wasserkreislauf vorgesehen. Auch alle anderen Nebenverbraucher (Lenkhilfpumpe, Kompressor, Türen etc.) waren mit elektrischem Antrieb vorgesehen. Als Subunternehmer bzw. Zulieferer hat Solaris u.a. folgende Firmen verwendet:

- Eko Energetyka: Ladegeräte
- Impact: Batterie
- Medcom: Traktionscontainer (Wechselrichter etc.)
- ZF: Achse mit radnabennahen Motoren
- Eltop: elektrische Heizung
- Spheros: Fahrerarbeitsplatz-Klimaanlage
- Schunk: Kontaktierungssystem

## **Projektdurchführung**

Abweichend vom Arbeitsplan, konnten aufgrund langer Lieferzeiten von Zulieferern erst eine Auslieferung für Januar 2016 vereinbart werden. Anfang 2015 wurden erste Baubesprechungen mit der Firma Solaris geführt. Hierbei wurde auch der Innenraum der Busse in Zusammenarbeit mit einem Designer anders als bei den bisherigen Bussen der ÜSTRA gestaltet, damit den Fahrgästen der „neue“ Elektrobus sofort auffällt.

Die Planungen für den Aufbau der Lademasten in Vahrenwald und am August Holweg Platz wurden im zweiten Quartal 2015 begonnen. Nach Abstimmung mit der Landeshauptstadt Hannover wurde ein Architekturbüro mit dem Design des Lademastes beauftragt. Der Lademast wurde von einem regionalen Metallbauer gefertigt. Die Prototyp-Vorstellung der Lademasten erfolgte am 11.09.2015. Der Aufbau der Lademasten wurde im Dezember 2015 abgeschlossen. Ergänzend zur ursprünglichen Planung wurde in den Lademast ein LED Bildschirm zur dynamischen Fahrgastinformation eingebaut. Die Auslieferung der Elektrobusse erfolgte im Zeitraum von Januar 2016 bis März 2016. Nach Auslieferung des ersten Elektrobusse wurde mit der Schulung des Werkstatt- und Fahrpersonals begonnen.

## **Die Qualifikation und Ausbildung von Mitarbeitern**

Die Einführung und der Betrieb von Elektrobussen bei der ÜSTRA stellt den Fahrbetrieb und die Werkstatt Stadtbuss nicht vor grundlegende neue Herausforderungen und Anforderungen hinsichtlich Ausbildung und Qualifikation, weil diese durch den Einsatz von Hybridbussen schon vorhanden waren. Ein wichtiges Thema dabei ist auch der Havariefall, bei dem technisches Personal, Fahrer, Leitstelle und auch externe Personen wie z. B. Feuerwehr geschult wurden. Zeitgleich erfolgten die Tests des Zusammenspiels zwischen Bus und Ladeinfrastruktur sowie diverse Testfahrten. Hierbei zeigte sich, dass die Ladehaube am Lademast zum Ausgleich von Toleranzen der Fahrbahnoberfläche quer zur Fahrtrichtung verstellbar sein muss. Die Lademasten wurden entsprechend umgebaut. Wegen der Entfernung zwischen der

Leistungselektronik und dem Lademast musste die zunächst verbaute Kommunikationsleitung aus Kupfer gegen ein Glasfaserkabel getauscht werden.

### **Die Lade- / Nachladeinfrastruktur**

Die Busse werden im Depot über Nacht vorgeladen und am Endpunkt der Linie 100/200 (August Holweg-Platz) nachgeladen. Aufgrund der systemischen Vorteile wird am August-Holweg-Platz ein konduktives Nachladesystem über den Pantograph installiert. Das Laden im Depot ist mit Ladesäulen und Steckverbindung realisiert.

Der im Betrieb benötigte Strom der Busse wird dem Fahrleitungsnetz der Stadtbahnen entnommen. Das hat einerseits den großen Vorteil, dass für den Betrieb der Elektrobusse eine große Energiemenge zur Verfügung steht und der Wirkungsgrad bei der Bremsstromrückspeisung der Stadtbahnen erhöht wird, andererseits müssen aber die Spannungsschwankungen in der Oberleitung der Stadtbahn bei der Leistungselektronik der Ladestation berücksichtigt werden.

Durch die konsequente Nutzung des Stroms aus dem Stadtbahnnetz benötigt der Betrieb mit Elektrobussen keine eigenen Unterwerke.

Zu Beginn des Pilotversuches gab es Schwierigkeiten mit der Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrobus. Aufgrund der großen Entfernung vom Lademast zur Ladestation wurden die Kupferleitungen gegen LWL-Leitungen (Glasfaser) ausgetauscht. Nach Optimierungen an der Software, sowohl auf dem Bus, als auch in der Ladestation, waren die Kommunikationsprobleme behoben. Die Ladeinfrastruktur hat seitdem eine Verfügbarkeit von nahezu 100 %.

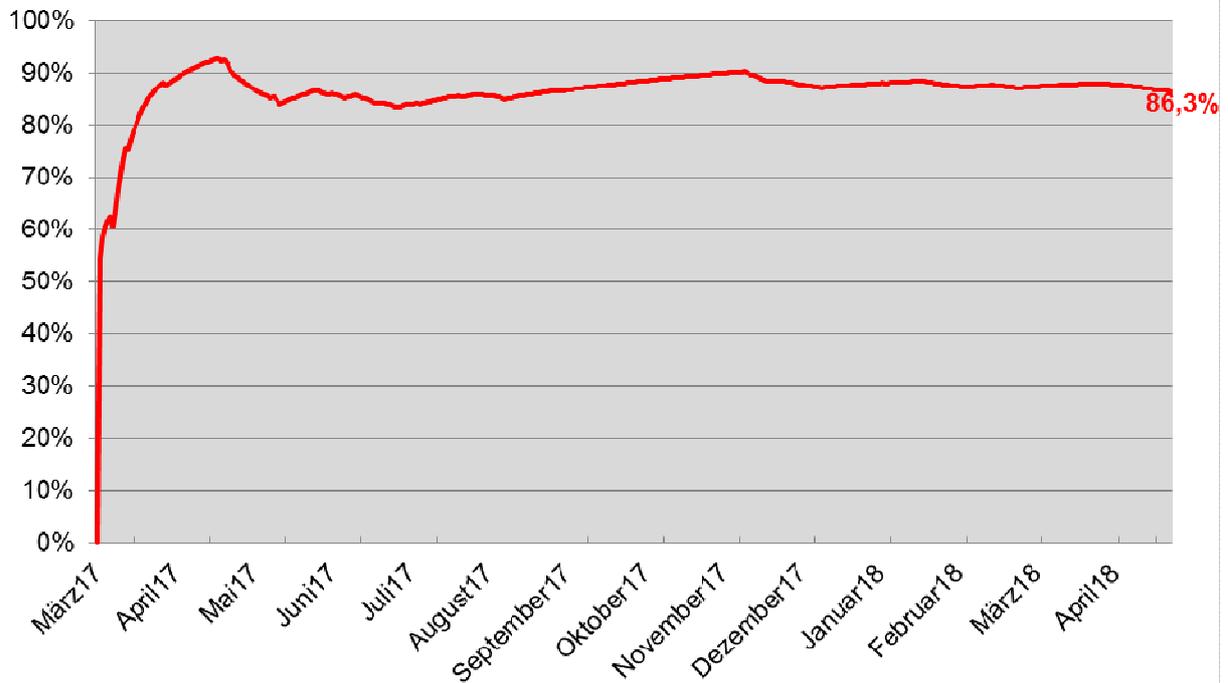
Am 05.04.2016 fand die festliche Eröffnungsveranstaltung am August-Holweg-Platz statt. Neben der Bundesumweltministerin wurde das Projekt auch von lokalen Politikern gewürdigt. Nach der offiziellen Eröffnung wurden regelmäßige Testfahrten im Linienbetrieb durchgeführt. In den ersten Monaten mussten durch den Hersteller mehrere Nachbesserungen vorgenommen werden. Ab Dezember 2016 wurde ein Kurs im Fahrplan als Elektrobus ausgewiesen. Die formale Abnahme der Elektrobusse erfolgte im zweiten Quartal 2017.

### **Verfügbarkeit der Elektrobusse**

Die Verfügbarkeit der Elektrobusse wird seit dem 01.03.17 differenziert nach der Verfügbarkeit des Antriebs und des gesamten Fahrzeugs dokumentiert. Bis zum 30.04.2018 liegt

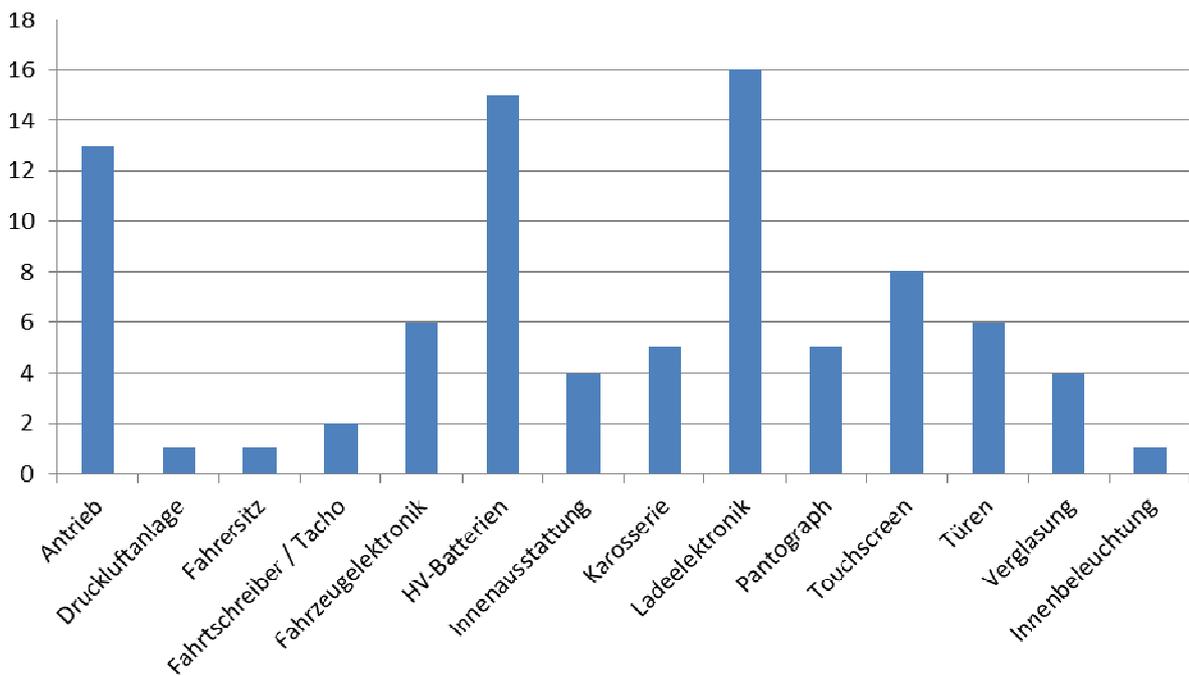
- die Verfügbarkeit des Antriebs bei 86,32 %.
- die Verfügbarkeit des Gesamtfahrzeugs bei 75,68 %.

## Verfügbarkeit Antrieb Elektrobuse 9601-9603



## Fehlerstatistik

### Anzahl Instandsetzungen je Baugruppe



## **Akzeptanzuntersuchung**

Mit Hilfe einer begleitenden Marktforschungsuntersuchung sollte die Akzeptanz dieser Busse bei Fahrgästen, Fahrern und Werkstattmitarbeitern, die mit der Wartung der Elektrobusse betraut waren, überprüft werden.

Abweichend vom Arbeitsplan, wurde die Akzeptanzuntersuchung erst im vierten Quartal 2017 durchgeführt. Mit der Akzeptanzuntersuchung wurde die Firma F & P Marktforschung GmbH beauftragt. Es wurden bei den Fahrgästen Interviews durchgeführt, die Befragung von Werkstatt- und Fahrpersonals ist mittels Fragebögen erfolgt.

## **Befragung (Methode und Sample)**

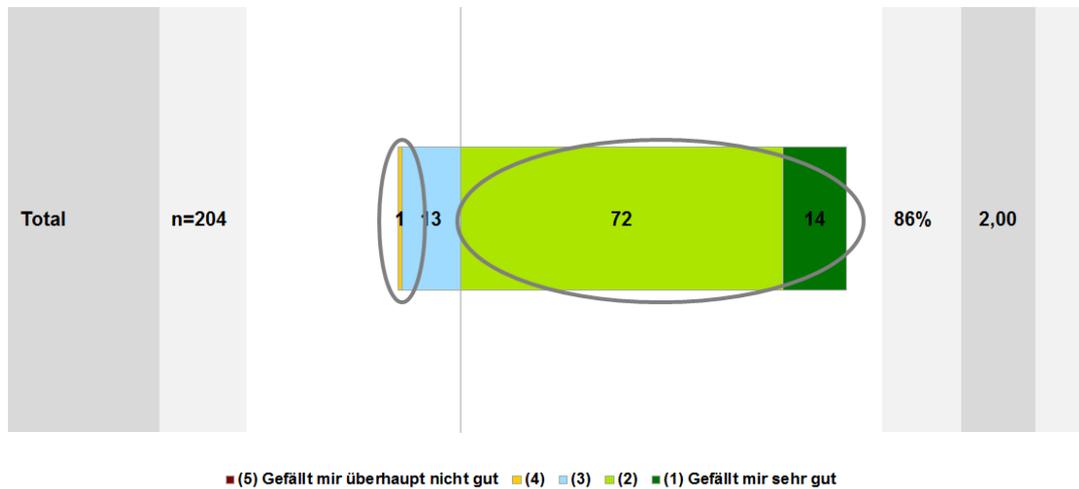
- Persönliche Interviews mit Fahrgästen in Bussen der Linie 100/200 in Hannover
- Interviewdauer ca. 8 Minuten
- Im Zeitraum vom 22. bis 24. November 2017 (jeweils 8:00 – 20:00 Uhr)
- Schriftliche Interviews mit Busfahrern und Werkstattmitarbeitern in der Zeit zwischen dem 4. und 8. Dezember 2017 (Fragebögen)
- Durchführung: F&P Marketingforschung GmbH Hamburg

## **Gesamtgefallen des Elektrobusses bei den Fahrgästen**

Wesentlichen Aussagen:

- Bei der Auswertung der Fahrgäste. Insgesamt stoßen die Busse auf große Akzeptanz. 86% gefallen sie gut bzw. sehr gut. Lediglich 1% äußert sich kritisch.
- Im Bereich der Inneneinrichtung werden insbesondere die Geräumigkeit und die Sitzplätze positiv hervorgehoben.
- Ferner wirkt der Bus neu und modern und daher sauber. 74% gefällt die Innenraumausstattung gut bzw. sehr gut. Lediglich 2% vergeben eine negative Bewertung
- Am häufigsten werden die kaum vorhandenen Fahrgeräusche positiv hervorgehoben.

## 204 Befragungen

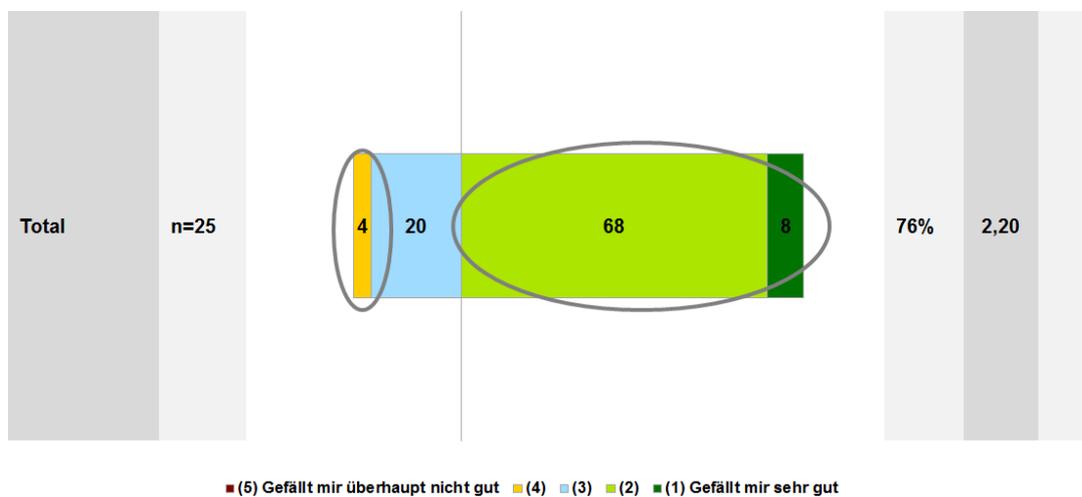


## Gesamtgefallen des Elektrobusses beim Fahrpersonal

### Wesentliche Aussagen:

- Bei der Auswertung der Fahrer. 76% der Fahrer gefällt der Bus gut bzw. sehr gut. Lediglich 4% äußern sich kritisch.
- Besonders gelobt werden die Beschleunigung, das Design und das Fahrverhalten.
- Problembereiche sind die Türen (Schließvorgang dauert lange), die Gestaltung des Arbeitsplatzes (Blendung).

## 25 Befragungen



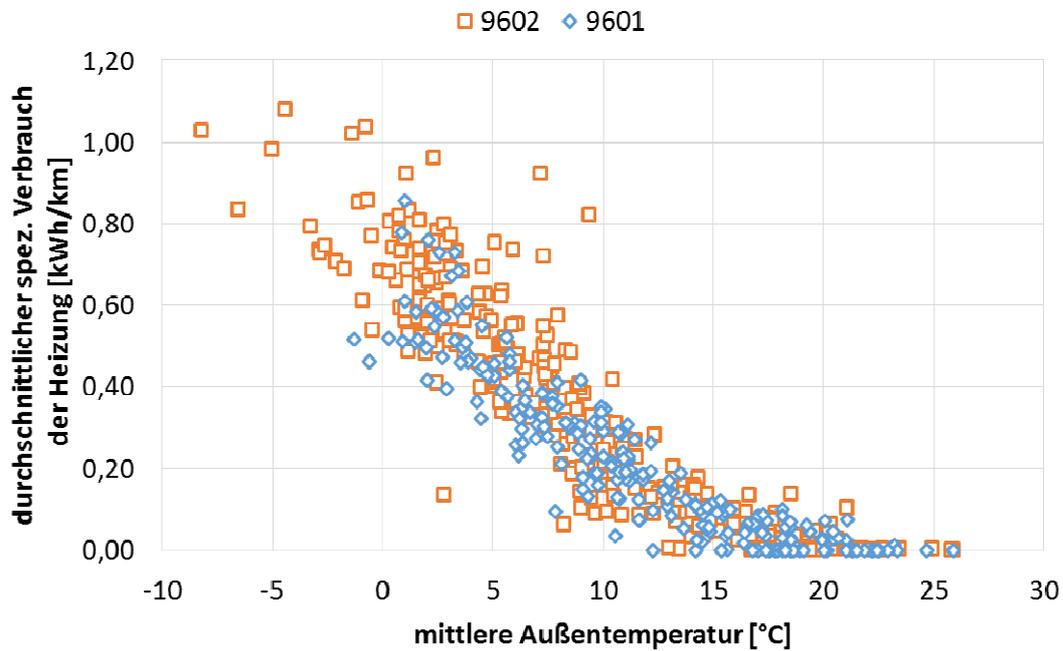
## Wissenschaftliche Begleitung

Die wissenschaftliche Begleitung wurde abweichend vom Arbeitsplan im Zeitraum vom 01.01.2017 – bis zum 28.02.2018 durch das Fraunhofer IVI durchgeführt. Es wurden in zwei Fahrzeugen Datenlogger eingebaut um verschiedene Signale (z.B. Beschleunigung, GPS Position, Energieverbrauch einzelner Komponenten, etc.) aufzuzeichnen.

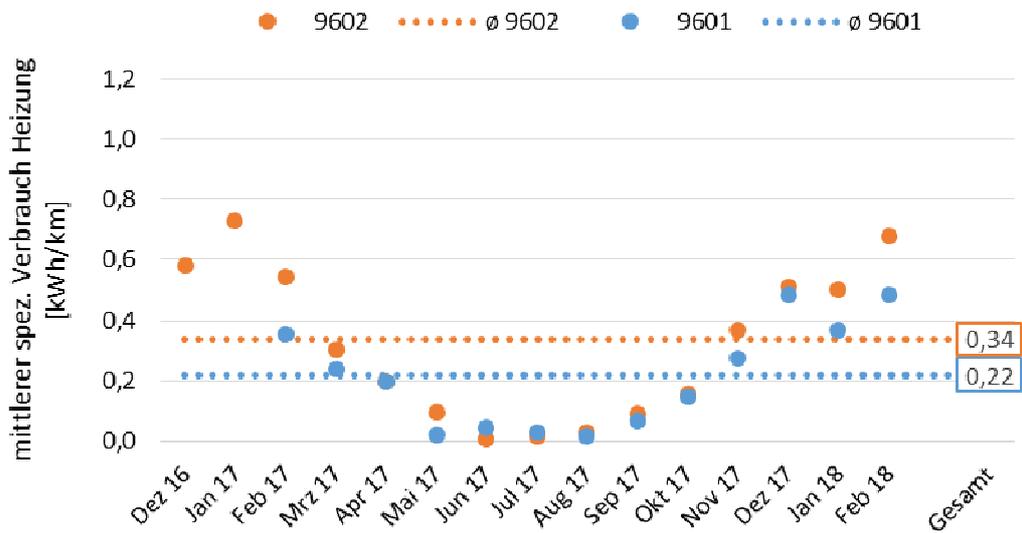
- Messtechnik in den Fahrzeugen 9601 und 9602
- ausgewerteter Einsatz beider Fahrzeuge im Messzeitraum:
- 530 Einsatztage
- 107.866 km
- Messwerte Energieverbrauch des IVI:

kWh/km	Durchschnitt	Maximalwert
Verbrauch Traktion	0,88	1,09
Verbrauch Heizung	0,28	1,08
Verbrauch weitere Nebenverbraucher (Türen, Rampe, Beleuchtung, Fahrerklima, Bordrechner etc.)	0,30	
Gesamtverbrauch	1,46	2,50

## Energieverbrauch der Heizung



■ spez. Verbrauch der Heizung je Einsatztag in Abhängigkeit von der mittleren Außentemperatur (Quelle: IVI)  
Fokus Heizung: CO2-frei



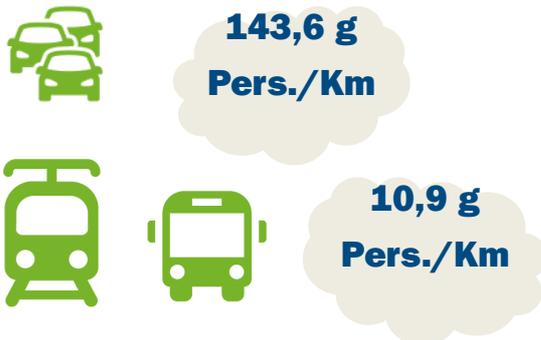
mittlerer spez. Verbrauch der Heizung je Monat (Quelle: IVI)

Fokus Heizung: CO2-frei

## CO<sub>2</sub> Vergleich 2017 der ÜSTRA

Seit 01/2015 bezieht die ÜSTRA CO<sub>2</sub>-freien Strom

- Seit 2015 Testat der CO<sub>2</sub> Emissionen durch Herrn Prof. Berninger (Ostbayrische Technische Hochschule Amberg-Weiden)



Quelle: VDV & Berechnungen CO<sub>2</sub> üstra

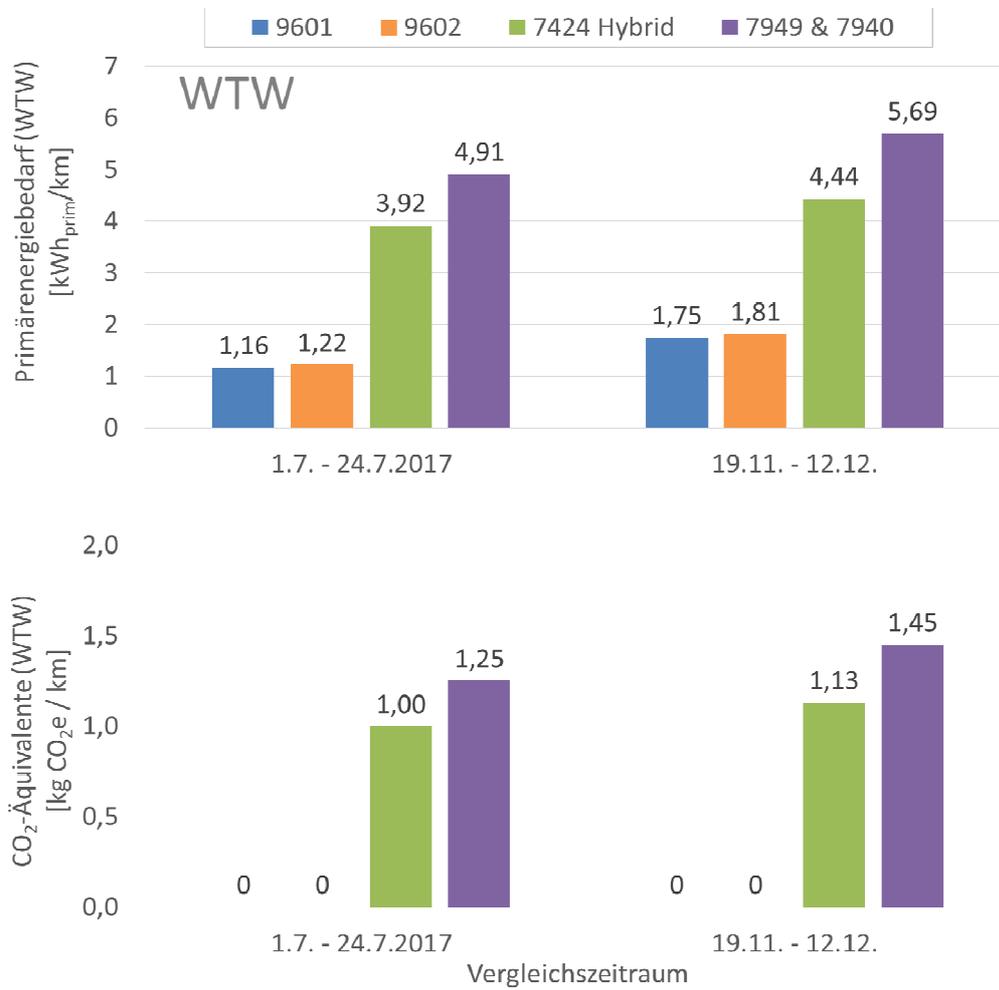
Reduzierung der Emissionen CO<sub>2</sub> Emissionen

Entwicklung im Vergleich der letzten neun Jahre in g CO<sub>2</sub>/Pers.km :

	Stadtbahn (g CO <sub>2</sub> /Pers.km)	Bus (g CO <sub>2</sub> /Pers.km)	Gesamt (g CO <sub>2</sub> /Pers.km)
<b>2009</b>	87	101	89,6
<b>2010 *1</b>	51	92	57,9
<b>2011</b>	50	94	56,9
<b>2012</b>	48	87	54,2
<b>2013</b>	47	88	53,2
<b>2014</b>	46	86	51,4
<b>2015 *2</b>	0	82	12
<b>2016</b>	0	81	11,1
<b>2017</b>	0	79	10,9

Der Strombezug seit 2015 ist CO<sub>2</sub> frei

## Energiebedarf im Vergleich mit Elektro, Hybrid und Dieselnbussen



Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Äquivalente

(Quelle: IVI)

## Energieverbrauch Antrieb im Vergleich zum Dieselbus in Litern

- Ein Solodieselbus hat einen Energieverbrauch von 37,1 Liter Dieselkraftstoff auf 100 km
- Ein Solodieselhybridbus hat einen Energieverbrauch von 28 – 31,5 Liter Dieselkraftstoff auf 100 km
- Der Soloelektrobus hat einen äquivalenten Energieverbrauch (ohne Heizung) von 9,5 Litern Dieselkraftstoff auf 100 km (mit Heizung 15 Liter Dieselkraftstoff)



10 Liter Bus ohne CO<sub>2</sub> und Schadstoffemissionen (NOx & Feinstaub)



31,5 Liter Bus mit CO<sub>2</sub> und Schadstoffemissionen (NOx & Feinstaub)

## Finanzierung des Projekts

Das Projekt in Hannover wurde mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert. Die Fördermittel stammen aus dem Förderprogramm „Erneuerbar Mobil“, das Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit einer hohen Innovation fördert.

Die zum Zeitpunkt der Antragstellung kalkulierten Projektkosten, die letztlich nachkalkulierten Kosten sowie die maximal förderfähigen Kosten der Nachkalkulation einschließlich der daraus resultierenden Fördermittel sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Aufgrund der zu erwartenden Kostensteigerung im Bereich der Ladeinfrastruktur gegenüber der ursprünglichen Planung ist in 2017 ein Aufstockungsantrag gestellt und auch genehmigt worden. Trotz Einsparungen bei der direkten Fahrzeugbeschaffung war ein Anstieg in Höhe 292,6 TEUR zu verzeichnen. Neben eines zweiten betrieblich notwendigen Lademastes am August-Holweg-Platz, einer zu installierenden, erforderlichen Klimatisierung der Ladestation und der Errichtung eines Betriebsgebäudes, dessen Größe städtebaulichen Vorgaben zu entsprechen hatte, war ein erhöhter Aufwand an Tiefbau- und Kabelverlegearbeiten maßgeblich verantwortlich für diese Entwicklung.

## Pilotversuch mit 3 Elektrobussen bei der ÜSTRA Projektkosten

	vorkalkulierte Projektkosten in TEUR	nachkalkulierte Projektkosten in TEUR	nachkalk. <u>max.</u> <u>förderfähige</u> Projektkosten in TEUR			
<b>A. Investitionen:</b>						
3 Elektrobusse (Mehrkosten)	1.500,0	1.160,9	1.160,90			
Ladeinfrastruktur auf Betriebshöfen	252,0	362,4	362,40			
Ladeinfrastruktur am Endpunkt	400,0	922,9	921,30			
<b>Summe (zu 35% Förderung)</b>	<b>2.152,0</b>	<b>2.446,2</b>	<b>2.444,60</b>			
<b>B. Forschung und Entwicklung:</b>						
wissenschaftliche Begleitung/Anforderungsanalyse	}	}	}			
Akzeptanzuntersuchung				110,0	125,2	110,0
Visualisierung an der Ladestation, E-Bus-Film etc.						
Personalkosten ÜSTRA	295,2	424,2	295,22			
<b>Summe (zu 40% Förderung)</b>	<b>405,2</b>	<b>549,4</b>	<b>405,22</b>			
<b>Projektkosten *)</b>	<b>2.557,2</b>	<b>2.995,6</b>	<b>2.849,82</b>			
<b>Förderung durch das BMUB</b>	<b>915,3</b>	<b>1.075,9</b>	<b>1.017,70</b>			
<b>Eigenanteil ÜSTRA abzgl Förderung</b>	<b>1.641,9</b>	<b>1.919,7</b>	<b>1.832,1</b>			

\*) Bei den Projektkosten der E-Busse handelt es sich um die Mehrkosten gegenüber Dieselbusse, nicht um die AHK der Busse

#### 4. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Wie in Kapitel 3 beschrieben, kam es zu folgenden wesentlichen Abweichungen vom Arbeitsplan:

- Verlängerung des Ausschreibungsverfahrens (Auf Wunsch der Bieter und nicht verwertbarer Angebote)
- Verlängerung der Lieferzeit der Elektrobusse (Lange Lieferzeiten von Elektrobus spezifischer Komponenten)
- Verlängerte Testphase der Busse

Dadurch hat sich die wissenschaftliche Begleitung und die Akzeptanzuntersuchung zeitlich verschoben.

#### 5. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Mit dem Pilotversuch haben wir gezeigt, dass ohne Änderung des Betriebskonzepts der Einsatz von Elektrobussen mit Nachladung auf der Strecke möglich ist.

Andere Verkehrsbetriebe passen ihr Betriebskonzept so an, dass ein Elektrobusbetrieb ohne Nachladen auf Strecke möglich ist.

Das verwendete Pantographen - System kommt bei verschiedenen Herstellern und einer steigenden Anzahl von Projekten zum Einsatz. Stand der internationalen Technik ist nach wie vor der Dieselbus, nur wenige Hersteller fertigen Elektrobusse in Serie.

Welches Ladekonzept sich langfristig am Markt durchsetzt, ist aktuell nicht absehbar.

## **6. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf**

Die Ergebnisse des Pilotversuches haben gezeigt, dass sich auf der Ringlinie 100/200 die Möglichkeit geboten hat, auf einer Linie herkömmliche Antriebssysteme mit der E-Bustechologie bezüglich Zuverlässigkeit, Einsatzfähigkeit im Linienbetrieb, CO<sub>2</sub>- und Schadstoffbilanz aber auch unter Kostengesichtspunkten zu vergleichen. Ein wichtiger Punkt war die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem Pilotversuch auf das Gesamtnetz hinsichtlich der erforderlichen Nachladeinfrastruktur und der Stromversorgung bei der Stadtbahn.

Bei den Anschaffungskosten zukünftiger Elektrofahrzeuge ist es entscheidend, wie sich die Kosten für die Speicherbatterien entwickeln werden. Die Ergebnisse des Pilotversuchs haben dazu geführt, dass die Busflotte der ÜSTRA ab 2020, zumindest für den innerstädtischen Betrieb, schrittweise auf Elektrobusse umgestellt und so für Hannover ein echter Paradigmenwechsel mit CO<sub>2</sub>- und schadstoffemissionsfreiem Busverkehr ermöglicht wird.

Solange aber die Einsparungen der Betriebskosten die Mehrkosten nicht kompensieren bzw. die Mehrkosten nicht durch Dritte getragen werden, würde die ÜSTRA weiter auf Hybridtechnik setzen. Für den weiteren Ausbau im innerstädtischen Betrieb werden somit weiterhin Fördermittel erforderlich sein.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung hat sich gezeigt, dass der Energiebedarf der Heizung bis zu einem kWh/pro Kilometer betragen kann. Hier wird ein weiterer F&E Bedarf gesehen. Eine energieeffizientere Heizung könnte zu kleineren und leichteren Batterien bzw. zu einer höheren Reichweite führen.

Da Elektrobusse mobile Energiespeicher darstellen, könnte an den Stadtbahndepunkten künftig mit einer steigenden Anzahl von Elektrobussen auf den Bau von stationären Stromspeichern verzichtet werden.

## **7. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)**

Durch die hohen Einsparungen an Energie und Schadstoffemissionen hat der Pilotversuch mit drei Elektrobussen einen sehr guten Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) erbracht.

Aufgrund des erfolgreichen Abschlusses des Pilotprojektes beabsichtigt die ÜSTRA, insgesamt 5 Linien in der Innenstadt von Hannover auf Busse mit elektrischem Antrieb umzustellen.

Hierzu werden weitere 48 Elektrobusse benötigt. Der Betrieb der Busse, würde zu den in der Tabelle unten aufgeführten Einsparungen an CO<sub>2</sub> führen.

Emissionen	Einsparung	
	[t/a]	
CO <sub>2</sub>	3.812,63	
Testzyklen <sup>1</sup>	WHSC	WHTC
THC <sup>2</sup>	1,84	2,26
NOx	5,66	6,51
Staub	0,14	0,14
CO	21,23	56,62

Die ÜSTRA bewirbt sich aktuell um weitere Fördermittel, um das Projekt zu realisieren.

---

<sup>1</sup> Abkürzungen für Testzyklen/Prüfverfahren: World Harmonized Stationary Cycle (WHSC) und World Harmonised Transient Cycle (WHTC).

<sup>2</sup> Gesamtkohlenwasserstoffe im Abgas (Total hydrocarbons).

### ***Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses***

- Internetauftritt der ÜSTRA
- Facebook, Twitter usw.
- Broschüre Elektrobus
- Nachhaltigkeitsbericht 2015- bis 2017
- Chronik 125 Jahre ÜSTRA
- diverse Veranstaltungen in Form von Präsentationen
- Film zum Elektrobus (Internetseite der ÜSTRA)
- Broschüre „Erneuerbar mobil“
- Regionsjournal der Region Hannover - Elektrobusprojekt mit der üstra
- Internetseite des Schaufenster Elektromobilität
- Klima-Allianz Broschüre der Landeshauptstadt Hannover
- Pressemitteilung Region Hannover über geplanten Pilotversuch
- Pressemitteilung üstra zur Vergabe des Auftrag an Fa. Solaris
- Pressemitteilung Ladesäule
- (keine Presse aber PR) Bautagebuch der üstra (Internetseite)
- Pressemitteilung Inbetriebnahme am 05.04.2016

**Einige Veröffentlichungen finden Sie auf der Internetseite der ÜSTRA.**

#### **Autoren Abschlussbericht:**

Frau Britta Tietze

Frau Svenja Koch

Frau Mandy Hupe

Frau Carmen Stock

Herr Wolfgang Friebe

Herr Frank Ahrndt

Herr Ingo Langhof

Herr Peter Kaufmann

Herr Dirk Möbius

Herr Jens Ernsting

Impressum

ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe Aktiengesellschaft

Am Hohen Ufer 6

30159 Hannover

Redaktion:

Ingo Langhof und Jens Ernsting

E-Mail: [Jens.Ernsting@uestra.de](mailto:Jens.Ernsting@uestra.de)

Tel. +49 511 1668 -2685