

Bericht zur

Konzeption

für eine städteübergreifende Einführung von elektrisch  
angetriebenen Linienbussen in Thüringen

Ableitungen und Vorschläge  
für die Landeshauptstadt Erfurt  
18.11.2015



## Inhaltsverzeichnis:

1	Veranlassung .....	3
2	Aktuelle Fahrzeugtechnik für Elektrobusse .....	3
3	Untersuchungen zur Umstellung der Stadtbuslinie 9 .....	4
3.1	Batteriebus mit stationäre Nachladung.....	4
3.2	Hybrid-Obus mit Fahrleitung auf Teilstrecken .....	4
4	Kostenbetrachtung .....	5
4.1	Untersuchung der Erstinvestitionskosten .....	5
4.2	Kostenaufwand für die EVAG über einen Abschreibungszeitraum von 25 Jahren...6	
4.3	Mittlere Betriebskosten je km auf der Linie 9.....	6
5	Umweltwirkung.....	7
6	Vorstellungen der EVAG zum Einsatz von E-Bussen .....	7
6.1	Allgemeines .....	7
6.2	Umrüstung der Linie 9 auf ein Hybrid-Obus-System.....	7
6.3	Kostenschätzung .....	8
6.4	Aussagen zur Finanzierung.....	8
6.5	Offene Punkte.....	8

# 1 Veranlassung

Der Freistaat Thüringen, vertreten durch das damalige Thüringer Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr hat im Zeitraum 2013 - 2015 ein Konzept für eine städteübergreifende Einführung von elektrisch angetriebenen Linienbussen für die fünf Thüringer Straßenbahnstädte (Erfurt, Jena, Gera, Nordhausen, Gotha) erarbeiten lassen. Zielstellung war es, die Machbarkeit solcher Projekte an jeweils einer Pilotlinie nachzuweisen und so die Voraussetzung zu einer zukunftsfähigen Mobilität und zum nachhaltigen Klimaschutz zu schaffen. Dabei sollen die durch das Straßenbahnnetz bereits vorhandenen Infrastruktureinrichtungen mit- und mögliche Synergien ausgenutzt werden.

Die Studie wurde unter Beteiligung von Vertretern des Freistaates, der genannten Straßenbahnstädte und deren Verkehrsunternehmen durch das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI Dresden und die EBF Dresden GmbH bearbeitet.

Gleichzeitig wurde in einem parallel laufenden Projekt, ebenfalls im Auftrag des Freistaates, ein Städteübergreifendes Energieversorgungssystem zur Betreibung von Elektrobussen in Thüringen untersucht. Hierbei ging es um die optimale Strombereitstellung aus erneuerbaren bzw. umweltfreundlichen Energien unter Beachtung von ökonomischen und ökologischen sowie auch städtebaulichen Randbedingungen. Bei den Untersuchungen wurde besonderer Wert auch auf eine wechselseitige Nutzung von Bremsenergie zwischen elektrischen Netzen von Bussen und Straßenbahnen gelegt.

Auf einem "Fachtag Elektromobilität" am 04.07.2014 auf der Erfurter Messe wurde über das Projekt und seine Ergebnisse berichtet und ein erster elektrischer Batteriebus vorgestellt. Im März und September 2015 wurden durch die EVAG zwei unterschiedliche Batteriebusse im öffentlichen Linienverkehr getestet.

## 2 Aktuelle Fahrzeugtechnik für Elektrobusse

Im Busbereich ist der elektrische Antrieb in Form von O-Bussen ein altbewährtes Konzept, welches auch in Erfurt von 1948 -1974 im Einsatz stand. Der Nachteil bestand in der vollständigen Oberleitungsabhängigkeit, die Umleitungen fast unmöglich machten und für Netzveränderungen hohe Investitionen verlangten. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Dieselmotoren, dem Einsatz von Großraumbussen und den damals scheinbar unbegrenzt zur Verfügung stehenden Kraftstoffen wurden in Deutschland fast alle O-Bus-Systeme auf Dieselbusse umgestellt.

In vielen Ländern wurden O-Bus-Systeme beibehalten und weiterentwickelt. Zum Ausgleich des Nachteils der Fahrleitungsabhängigkeit wurden für kürzere Abschnitte kleinere Verbrennungsmotoren in die O-Busse eingebaut, die den notwendigen Fahrstrom erzeugen können.

Mit der Entwicklung leistungsfähiger Batterien mit kurzen Ladezeiten wurde es möglich, den ergänzenden Verbrennungsmotor gegen leistungsstarke Batterien auszutauschen, die den O-Bussen ein fahrleitungsunabhängiges Fahren auf bestimmten Teilabschnitten ermöglicht. Damit ist ein vollständig emissionsfreies Fahren erreicht. Ein solches System wird z.B. seit 2005 erfolgreich in Rom angewendet.

Derzeit werden verstärkt reine Elektrobusse entwickelt und getestet, die ihre Energie aus großen Batteriepaketen speisen. Die Batterien werden über Nacht im Betriebshof aufgeladen und können auf der Strecke punktuell nachgeladen werden.

### 3 Untersuchungen zur Umstellung der Stadtbuslinie 9

Für die Untersuchungen wurde in Erfurt die am stärksten belastete Stadtbuslinie 9 Nordbahnhof - Hauptbahnhof - Daberstedt ausgewählt, lässt sie mit ihrem dichten 10-Minuten-Takt bei einer Umstellung auf elektrischen Betrieb doch deutliche Einsparung an Dieselmotorkraftstoff und umweltschädlichen Klimagasen sowie günstigere Amortisationswerte bei den Investitionen erwarten.

Berücksichtigte Randbedingungen:

- Einsatz von Gelenkbussen
- 6 Fahrzeuge im Umlauf
- 10-Minuten-Takt
- geringe Wendezeiten an den Endstellen (50 Minuten Fahrzeit, 10 Minuten Wendezeit im Umlauf)
- 259 km Streckenlänge / Tag und Bus
- max. 17,5 Stunden Einsatzzeit / Tag und Bus
- im Sommer weiterhin Klimatisierung, Maximaltemperatur + 40°C
- im Winter Heizung, Minimaltemperatur -20°C

Für die Buslinie 9 wurden das Streckenprofil sowie in zahlreichen Messfahrten Energieverbrauch und Zeitläufe aufgenommen und modelliert. Daraus wurde der für den Fahrbetrieb notwendige Energieverbrauch ermittelt und in einer erweiterten Energiebilanzrechnung mit den Anforderungen an Nebenaggregate, Heizung und Klimaanlage überlagert.

#### 3.1 Batteriebus mit stationäre Nachladung

Unter den vorgegeben Einsatzbedingungen wäre - wegen der kurzen Wendezeiten - eine stationäre Nachladung der Fahrzeugbatterie in jedem Umlauf nur sehr kurzzeitig möglich. Damit ist kein Ausgleich der verbrauchten Energie möglich, sondern nur ein sehr beschränktes Zuladen. Dieses reicht nicht aus, den vollständigen Energieverbrauch des Busses über die gesamte Einsatzdauer eines Tages zu decken.

Selbst unter dem Ansatz, dass die sehr energieintensive Heizung auf eine chemische Standheizung umgestellt wird, ist der notwendige Energieverbrauch eines Tages für Fahren, Nebenaggregate und Klimatisierung nur mit einer sehr großen und damit schweren 395 kWh-Batterie zu decken. Diese würde zu einer Beschränkung der Zuladung an Fahrgästen führen.

Die EVAG lehnt eine chemische Zusatzheizung ab, weil damit die Zielstellung eines emissionsfreien Busbetriebes nicht erfüllt wird.

**Für den konkreten Einsatzfall der Buslinie 9 ist ein reines Batteriebusssystem mit stationärer Nachladung derzeit nicht umsetzbar. Wenn sich die technischen Möglichkeiten hinsichtlich leistungsstärkerer Batteriespeicher bei geringerem Gewicht verändern, sind neue Untersuchungen und Bewertungen durchzuführen.**

#### 3.2 Hybrid-Obus mit Fahrleitung auf Teilstrecken

In einem zweiten Ansatz wurde ein System untersucht, bei dem die Busse abschnittsweise aus einer mittelgroßen Traktionsbatterie von 210 bis 220 kWh (Eigengewicht ca. 2.400 kg) angetrieben werden. Diese wird auf Fahrleitungsabschnitten, unter denen der Bus als O-Bus verkehrt, wieder aufgeladen, sodass die Batterieenergie über den gesamten

Tageeinsatz ausreicht. Ein weiterer Vorteil dieses auch als Hybrid-Obus bezeichneten Misch-Systems, besteht darin, dass in größeren Abschnitten auch zurückgespeiste Bremsenergie der Stadtbahnen mit zur Batterieaufladung genutzt werden kann.

Es wurden verschiedene Varianten mit unterschiedlich langen Fahrleitungsabschnitten im Bereich Nordbahnhof - Ruhrstraße und teilweise auch im Bereich der Endstelle Daberstedt untersucht. Im Norden kann dabei an die vorhandene Stadtbahnstromversorgung über die Unterwerke Salinenstraße und Betriebshof Magdeburger Allee unkompliziert angebunden werden, im Süden wäre ein aufwändigerer Anschluss an das Unterwerk in der Tschaikowskistraße herzustellen.

Durch die Ingenieurbüros wurde eine Vorzugsvariante H mit einem Oberleitungsabschnitt zwischen Nordbahnhof und Ruhrstraße herausgearbeitet, der Heizungs- und Klimatisierungsanforderungen erfüllt, jedoch einen zusätzlichen Fahrzeugaustausch in den Abendstunden erfordert.

Diese wurde später nochmals optimiert und die Fahrleitungslänge auf den Abschnitt Nordbahnhof - Schwimmhalle Johannesplatz eingekürzt. Hierbei müsste allerdings die elektrische Heizung durch eine chemische Zusatzheizung ersetzt und gegebenenfalls auf eine Vollklimatisierung verzichtet werden.

**Für den konkreten Einsatzfall der Linie 9 ist ein Hybrid-Obus-System grundsätzlich realisierbar. Die notwendigen Oberleitungsabschnitte sind abhängig von Batteriegröße und Heizungs-/ Klimatisierungsanlagen weiter zu untersuchen.**

## 4 Kostenbetrachtung

Der Freistaat Thüringen hat in seiner ÖPNV-Investitionsrichtlinie 2015 großzügige Fördermöglichkeiten für Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien, einschließlich notwendiger Infrastruktur, geschaffen. So können 80% der Infrastrukturinvestitionen und Kosten für notwendige Ersatzbeschaffungen bezuschusst werden. Bei Bussen kann die Förderung zusätzlich zur normalen Fahrzeugförderung 75% der zuwendungsfähigen Mehrausgaben betragen.

In der Konzeption für eine städteübergreifende Einführung von elektrisch angetriebenen Linienbussen in Thüringen wurden für einen Zeitraum von 25 Jahren die Investitions- und Betriebskosten für Hybrid-Obus-Systeme sowie die Fördermöglichkeiten ermittelt und dem reinen Dieselbusbetrieb gegenüber gestellt. Es wird dabei von gleichbleibenden Förderbedingungen, Fahrzeugkosten, Energiekosten etc. ausgegangen.

### 4.1 Untersuchung der Erstinvestitionskosten

In Abhängigkeit von der Länge des Fahrleitungsabschnittes wurden von den Ingenieurbüros folgende Erstinvestitionskosten für die Umstellung der Buslinie 9 auf ein Hybrid-Obussystem ermittelt. Bei den Fahrzeugen wurde die Neubeschaffung von 7 Gelenkfahrzeugen angenommen:

	Hybrid-Obus mit Varianten der Fahrleitungslänge	Dieselbus
Gesamtkosten [T€]	7.311 ... 9.275	2.520
Fördermittel [T€]	4.340 ... 5.910	700
Eigenanteil EVAG [T€]	2.971 ... 3.365	1.820

Bei Umstellung der Buslinie 9 auf ein Hybrid-Obussystem sind die aufgezeigten Investitionskosten in einem sehr kurzen Zeitraum bereitzustellen. Bei Beibehaltung des Dieselbussystems können die aufgezeigten Investitionskosten in Abhängigkeit vom Alter und Zustand der eingesetzten Fahrzeuge über mehrere Jahresscheiben gestreckt werden.

#### 4.2 Kostenaufwand für die EVAG über einen Abschreibungszeitraum von 25 Jahren

Für die Neuerrichtung der Anlagen für ein Hybrid-Obussystem ist ein Abschreibungszeitraum von 25 Jahren vorzusehen. Für diesen wurden durch die Ingenieurbüros folgende, nach der Erstinvestition entstehende Kosten für die EVAG ermittelt:

über einen Zeitraum von 25 Jahren	Hybrid-Obus mit Varianten der Fahrleitungslänge	Dieselbus
Abschreibung / Verzinsung [T€]	7.010 ... 7.560	4.360
Betriebskosten [T€]	8.160 ... 8.721	9.910
<b>Kostenaufwand für EVAG [T€]</b>	<b>15.170 ... 16.280</b>	<b>14.270</b>
Fördermittelaufwand [T€]	9.810 ... 11.380	2.100

#### 4.3 Mittlere Betriebskosten je km auf der Linie 9

Aus dem in Punkt 4.2 aufgezeigten Kostenaufwand für die Buslinie 9 über 25 Jahre wurden die folgenden mittleren Kilometerkosten für ein Hybrid-Obussystem ermittelt und der Dieselbusvariante gegenüber gestellt (Ansatz: konstante Preise, gleichbleibende Fördersätze über Gesamtzeitraum).

	Hybrid-Obus mit Varianten der Fahrleitungslänge	Dieselbus
Fahrzeugkosten [€/km]	1,38 ... 1,39	1,36
Infrastrukturkosten [€/km]	0,05 ... 0,17	--
<b>Gesamt [€/km]</b>	<b>1,44 ... 1,55</b>	<b>1,36</b>

Auf Grund der hohen Fördersätze für Elektrobusse, notwendige Infrastrukturanlagen und Ersatzbeschaffungen liegen die zu erwartenden wirtschaftlichen Belastungen der EVAG für die Umstellung der Buslinie 9 auf ein Hybrid-Obussystem etwa im gleichen Kostenrahmen wie für den Weiterbetrieb als Dieselbuslinie. Vorteile liegen insbesondere in den deutlich niedrigeren Energiekosten sowie in den deutlich besseren Umweltwerten.

## 5 Umweltwirkung

Für das gesamte E-Bus-Projekt wurde parallel eine umweltfreundliche Energieversorgung untersucht, die eine durchgehende Verwendung von Öko-Strom ermöglicht.

Auf dieser Grundlage wurden vom Ingenieurbüro EBF Dresden auch die Umweltwirkungen, die durch eine Umrüstung der Buslinie 9 auf elektrischen Betrieb entstehen, bewertet.

Betrachtet wurden die Emissionen im Streckenabschnitt Iderhoffstraße - Eislebener Straße:

- ca. 11.800 Kfz / 24 Stunden
- davon 164 Linienbusse = 1,4% vom Verkehrsaufkommen

	CO <sub>2</sub> [t/(km*a)]	NO <sub>2</sub> [kg/(km*a)]	NO <sub>x</sub> [kg/(km*a)]	PM10 [kg/(km*a)]
Dieselbus	880	536	2.194	33,08
Elektrobus (E-Heizung)	801	448	1.784	29,49
Einsparung	- 9,0 %	- 16 %	-19 %	- 11 %

Die Übersicht zeigt, dass bereits auf diesem Streckenabschnitt durch die Umstellung der Linie 9 auf elektrischen Antrieb deutliche Umweltwirkungen an schädlichen Abgasen und Feinstaub erreicht werden können.

Diese Aussage wird noch deutlicher, wenn man die gesamte Linie 9 betrachtet:  
(Ansatz 55l Diesel / 100km, 420.000 km/a)

Lokale CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung der gesamten Linie 9 bei 100% E-Bus-Einsatz: 610 t/a

## 6 Vorstellungen der EVAG zum Einsatz von E-Bussen

### 6.1 Allgemeines

Die vorliegenden Untersuchungen zum Einsatz von elektrisch angetriebenen Bussen in Erfurt wurden von der EVAG begleitet und in den Arbeitsgruppen diskutiert.

Mit Stellungnahme vom 08.07.2015 hat die EVAG Ihre Vorstellungen zum Einsatz von E-Bussen in Erfurt formuliert. Diese werden in diesem Kapitel zusammengefasst.

Die EVAG steht einer Einführung von neuen technischen Lösungen aufgeschlossen gegenüber und hält prinzipiell die Einführung elektrisch angetriebener Busse zur Erreichung der Klimaschutzziele der Stadt Erfurt unter definierten Randbedingungen für machbar.

Eine Entscheidung für ein Elektrobussystem ist eine Systementscheidung für mindestens 25 Jahre, welche die Fortführung der gegenwärtigen Förderrichtlinie voraussetzt.

### 6.2 Umrüstung der Linie 9 auf ein Hybrid-Obus-System

Auch aus Sicht der EVAG erfordert eine Umrüstung der Buslinie 9 zur E-Buslinie einen genügend großen Fahrleistungsbereich zur Sicherung der Energieversorgung über die gesamte tägliche Einsatzzeit der Busse. Dabei sollte - im Gegensatz zur Studie - die Batteriegröße so klein wie möglich gewählt werden und auch eine elektrische Heizung /

Klimatisierung gesichert werden. Eine Diesel- oder Heizölheizung wird von der EVAG aus Umweltschutzgründen abgelehnt.

Die EVAG schlägt deshalb für die Linie 9 eine Umrüstung zu einer Hybrid-Obuslinie wie folgt vor:

- Fahrleitungsabschnitte:  
Nordbahnhof - Ruhrstraße und  
Wilhelm-Busch-Straße - Endstelle Daberstedt - Roland-Matthes-Schwimmhalle
- Verlängerung der Buslinie von Daberstedt zur Roland-Matthes-Schwimmhalle mit neuer Verknüpfung zu den Stadtbahnlinien 3 und 4 und gleichzeitiger elektrischer Anbindung an das Unterwerk Tschaikowskistraße

### 6.3 Kostenschätzung

Die EVAG schätzt die Gesamtkosten für die Umrüstung der Linie 9 mit ca. 13 Mio. € ein, davon entfallen

	Gesamtkosten	Fordermittel	Eigenanteil EVAG
Fahrzeuge [Mio. €]	ca. 7,0	ca. 4,1	ca. 2,9
Infrastruktur [Mio. €]	ca. 6,0	ca. 4,8	ca. 1,2
			Summe: ca. 4,1 Mio. €
Planungskosten			

Als betrieblich finanzieller Mehraufwand wird derzeit mit 250 T€ / Jahr (Stand November 2015) gerechnet.

### 6.4 Aussagen zur Finanzierung

Die Investitionskosten von ca. 4,1 Mio. € + Planungskosten sind gegenwärtig im Investplan der EVAG nicht enthalten. Eine Bereitstellung wäre nur möglich, wenn andere Maßnahmen zurückgestellt werden.

Auch die erwarteten zusätzlichen Betriebskosten von ca. 250 T€ / Jahr sind gegenwärtig nicht in den Planungen der EVAG enthalten. Sie müssten zusätzlich zum öffentlichen Dienstleistungsauftrag durch die Stadt / Stadtwerke Erfurt GmbH ausgeglichen werden.

### 6.5 Offene Punkte

- Finanzierung, s. o.
- Es ist zu klären, ob die benötigten Fahrleitungsanlagen von den betroffenen Bürgern akzeptiert werden.
- Eine Realisierung ist nach folgender Zeitkette erst im Jahr 2019 realistisch:  
12 Monate Planungszeit  
18 Monate Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens für Fahrleitungsanlagen  
6 Monate Bauzeit