



Möglichkeiten zur Implementierung von Elektrobussen in den öffentlichen Personennahverkehr am Beispiel der Stadt Münster

Projektarbeit
von
Kerstin Baade B.Eng.

Fachbereich
Energie • Gebäude • Umwelt



Labor für Umwelttechnik

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Münster im Oktober 2011

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	6
2	EINLEITUNG	7
2.1	Die Stadtwerke Münster GmbH	7
2.2	Aufgabenbeschreibung	7
3	BATTERIETECHNIK	9
3.1	Eigenschaften von Batterien	9
3.1.1	Energiedichte	9
3.1.2	Leistungsdichte	9
3.1.3	Lebensdauer	10
3.1.4	Sicherheit	10
3.1.5	Spezifische Batteriekosten	10
3.1.6	Betriebsbedingungen	11
3.2	Verschiedene Akkumulatoren	11
3.2.1	Bleiakkumulatoren	11
3.2.2	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren	12
3.2.3	Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren	13
3.2.4	Natrium-Nickel-Chlorid-Akkumulatoren (ZEBRA)	13
3.2.5	Lithium-Ionen-Akkumulatoren	14
3.2.6	Doppelschicht-Kondensatoren (Ultracaps)	16
3.2.7	Redox-Flow-Batterie	16
3.3	Alternativen zum Akkumulator	17
4	LADETECHNIK	19
4.1	Ladung über die häusliche Steckdose	19
4.2	Ladung über Hochleistungsanschluss	19

4.3	Ladung über Wechselbatterien.....	20
4.4	Ladung ohne on-board Speicher über externe Stromversorgung	20
4.4.1	Oberleitungen	20
4.4.2	Induktion	21
5	ANTRIEBE.....	22
6	BETRIEBSKONZEPTE IM ÖFFENTLICHEN PERSONENNAHVERKEHR	23
7	E-BUSSE FÜR MÜNSTER?.....	25
7.1	Besonderheiten in Münster.....	25
7.2	Die geeignete Linie zur Einbindung der E-Busse.....	27
7.3	Geeignete Modelle	28
7.4	Ladetechnik und zugehörige Infrastruktur	29
7.5	Abschätzung des Energiebedarfs	29
7.6	Kostenabschätzung	30
7.6.1	Bau der Infrastruktur bzw. Ladestationen	30
7.6.2	Investition E-Busse	30
7.6.3	Energiekosten	31
7.7	Kosten-Nutzen-Vergleich von Elektro- und Dieselnissen.....	31
7.8	Auswertung.....	32
8	ZUSAMMENFASSUNG.....	34
9	VERZEICHNISSE.....	35
9.1	Literaturverzeichnis.....	36
9.2	Abbildungsverzeichnis	38

9.3 Tabellenverzeichnis 38

8 Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Arbeit wurden die verschiedenen Eigenschaften von Akkumulatoren und die verschiedenen auf dem Markt erhältlichen Akkumulatoren vorgestellt. Aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten sind viele der technisch ausgereiften Lithium-Ionen-Akkus noch nicht für den Mobilitätssektor geeignet. Zusätzlich sind sie teurer als die verhältnismäßig schwereren Blei-Säure-Akkus. In den nächsten Jahren wird im Bereich der Lithium-Ionen-Akkus allerdings noch ein deutlicher Fortschritt bezüglich Sicherheit und Kostenreduktion erwartet [4]. Die sogenannten Supercaps sind dagegen ausgereift und werden in Hybrid-Fahrzeugen schon heute erfolgreich eingebaut [7].

Die Antriebe für Elektrofahrzeuge sind in Zukunft nicht mehr zwingend an den Aufbau von Mineralöl-Modellen gebunden. Denkbar ist sogar ein direkter Antrieb der Räder über Radnabenmotoren [13]. Allerdings gibt es im Bereich von Bussen für den ÖPNV mit ausreichenden Fahrgastplätzen derzeit noch keine Serienmodelle, so dass die Investitionskosten die von Dieselnissen deutlich übersteigen.

Neben den Investitionskosten, die auch von der Reichweite abhängig sind, spielt die Ladezeit eine wichtige Rolle. Den Fahrgästen kann kaum eine längere Reisezeit an Endhaltestellen zugemutet werden. In der Regel sind im Dienstplan 5 – 10 Minuten Wendezeit an den Endhaltestellen vorgesehen. Allerdings reicht diese Zeit insbesondere bei Verspätungen nicht aus, um die Energie für eine übliche Fahrstrecke von 10 – 20 km "aufzutanken". Schnellladestationen können hier eine Lösung darstellen. Im Fahrzeugdepot ist zusätzlich sicherzustellen, dass entsprechende Lademöglichkeiten vorhanden sind, so dass die Busse zu 100 % aufgeladen sind, wenn sie eingesetzt werden. Grundsätzlich sollen die zwei neuen E-Busse Dieselnisse zu 100 % ersetzen. Deshalb sollten übermäßige Nachladezeiten, die zusätzliche Zeiten in Fahr- und Dienstplänen erfordern würden, vermieden werden, da sonst eine höhere Fahrzeugvorhaltung nötig wäre.

Es ist sinnvoll, für das Pilotprojekt eine nicht zu lange Strecke auszuwählen. Für eine kürzere Strecke kann innerhalb der 5 bis 10 Minuten Pausen zwischen den einzelnen Touren im Verhältnis mehr Strom geladen werden. Aus diesem Grund würde sich die Linie 14 mit einer Strecke von "nur" 11,5 km anbieten. Diese Schlussfolgerung ergibt sich durch diese Projektarbeit.

Wie bereits erwähnt, sind die Investitionskosten für E-Busse deutlich höher als die für Dieselnisse. Dafür sind die Fahrkosten von E-Bussen deutlich geringer. Bei einer hohen Auslastung mit vielen Fahrten und einer langjährigen Nutzung, die über die Nutzungsdauer eines Dieselnisse

busses hinaus geht, kann sich ein E-Bus wirtschaftlich rentieren. Dennoch sind Fördergelder bei der Markteinführung unabdingbar für die Investoren.

Gegenwärtig kann der rein elektrisch betriebene Bus noch keine wirtschaftliche Alternative zum Dieselbus sein. Als Übergangslösung lassen sich Hybridbusse und regenerative Antriebe bereits heute wirtschaftlich vertretbar darstellen, sofern es eine angemessene öffentliche Co-Finanzierung gibt, wie sie gegenwärtig in Münster/NRW üblich ist. Im Hinblick auf die Verknappung von fossilen Energieträgern und der Verknappung von erforderlichen landwirtschaftlichen Nutzflächen bedeuten Diesel-, Benzin- und Gasantriebe (incl. Biodiesel und Biogas) aber eben auch nur eine Übergangslösung auf dem Weg zu einem ethisch vertretbaren CO² neutralen ÖPNV. Der Elektrobus, gespeist mit regenerativ erzeugter Energie ohne Wettbewerb zu landwirtschaftlichen Nutzflächen kann und sollte bei Erfüllung von ökonomischen Randbedingungen die folgerichtige langfristige Handlungsstrategie für den städtischen Busverkehr in Münster sein.