Stand der Entwicklung von Elektrostrassenfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland

Autor(en): **Günter, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **75 (1984)**

Heft 18

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904474

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Stand der Entwicklung von Elektrostrassenfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland

F. Günter

Elektrizität hat als Substitutionsenergie ihre vielfältigen anwendungstechnischen Vorteile bewiesen und hat sich unter anderem wegen ihrer Umweltfreundlichkeit in vielen Bereichen durchgesetzt.
Der Einsatz elektrischer Energie auch im Strassenverkehr scheint daher nur eine logische Folge. Dass das Elektrofahrzeug wesentlich zur Entlastung der Umwelt sowohl von Abgasen als auch von Lärm gerade im unmittelbaren Lebensraum des Menschen beitragen kann, ist inzwischen wohl unumstritten. Der Beitrag zeigt den gegenwärtigen Stand der Entwicklung eines Elektroautos für den Strassenverkehr auf und gibt einen Ausblick auf die Zukunft.

L'électricité en tant qu'énergie de remplacement a démontré les avantages multiples de ses applications et s'est imposée dans de nombreux domaines, notamment à cause de son aspect écologique.
L'utilisation de l'énergie électrique pour les transports routiers semble par conséquent une suite logique. Aujourd'hui, c'est un fait probablement incontesté que le véhicule électrique peut contribuer de manière importante à réduire les atteintes portées à l'environnement, aussi bien au niveau des gaz d'échappement que du bruit. Cet article présente la situation actuelle de la réalisation d'une voiture électrique pour la circulation routière et les perspectives pour l'avenir.

1. Einleitung

Ende 1970 begann die GES Gesellschaft für elektrischen Strassenverkehr mbH, Essen, gegründet auf Initiative des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes AG, in Zusammenarbeit mit der Industrie sich mit dem Elektrofahrzeug wieder intensiver zu beschäftigen. Umweltfreundlichkeit war das Hauptargument, Energieprobleme kamen erst 1973 anlässlich des ersten Ölschocks dazu. Ausserdem wurde durch die weiter entwickelte Halbleitertechnik die Möglichkeit gegeben, gegenüber älteren Modellen verlustärmere Steuerungen zu bauen, die eine bessere Ausnutzung des mitgeführten Energiepakets (Batterie) erlaubte.

Von Anfang an war klar, dass das Elektrofahrzeug nicht das konventionelle Fahrzeug vom Markt verdrängen wird; aber speziell im Nahverkehr ist es als sinnvolle Alternative einsetzbar und kann helfen, in Ballungszentren die Umweltbedingungen erheblich zu verbessern.

2. Entwicklungsstand

Die Arbeiten der GES richteten sich auf eine Reihe verschwiedener Fahrzeugtypen (Tab. I).

- *Elektrobusse*

Von den MAN-Batterie-Elektrobussen (Fig. 1) waren innerhalb eines z.T. öffentlich geförderten Versuchsprogramms bis Ende 1981 in Düsseldorf 13 und in Mönchengladbach sieben Busse täglich bis zu 18 Stunden im normalen Liniendienst eingesetzt. Dabei hatten die Busse insgesamt etwa 8 Mio km zurückgelegt. Nach technischer Umrüstung auf das sogenannte automatische Ankopplungsverfahren zur Kurzzeitzwischenladung in fahrplanbedingten Standzeiten wird der Versuch mit allen 20 Bussen seit Juli 1982 offiziell bei der Rheinischen Bahngesellschaft AG in Düsseldorf fortgesetzt.

Von einem kommerziellen Einsatz kann im Augenblick noch nicht gesprochen werden. Ziel des Programms ist es, wie bei allen von der GES betreuten Elektrofahrzeugen, die gewonnenen Erkenntnisse und die in der Praxis ermittelten Werte für die Optimierung künftiger Fahrzeuge bzw. einzelner Komponenten zu nutzen, bevor das Gesamtsystem Batterie-Elektrobus dem Markt angeboten werden kann.

Fig. 1
Batterie-Elektrobus bei der Zwischenladung

Adresse des Autors
Dipl.-Ing. *Friedhelm Günter*, GES Gesellschaft für elektrischen Strassenverkehr mbH, Frankenstrasse 348, D-4300 Essen 1

Elektrofahrzeugprogramme in der BRD nach 1970 Tabelle I

Zahl der Fahrzeuge	Art der Fahrzeuge	Ort	Beginn des Programms	Bisherige Gesamtkilometerzahl	Bemerkungen
20	Batterie-Elektrobusse	Mönchengladbach und Düsseldorf	1974/75	8 Mio	Seit 1982 alle Busse in Düsseldorf im Rahmen des öffentlich geförderten Modellversuchs «Automatische Ankoppelvorrichtung»
20	Hybrid-Elektrobusse	Stuttgart und Wesel	1979	2 Mio	Batterieelektrischer Betrieb in der Innenstadt, dieselelektrisch ausserhalb
130	Elektro-transporter	25 Städte in der BRD und der Schweiz	1975	4 Mio	
20	Personenwagen CitySTROMer		1982	etwa 10 000 km/a je Fahrzeug	Bis Ende 1984 sollen total 50 Fahrzeuge gebaut werden.
45	Elektro-transporter		1980		Im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Programms «Alternative Technologien im Strassenverkehr»
34	Elektro-transporter	Bonn	1980		Im Postdienst eingesetzt, finanziert vom Bundesministerium für Verkehr

- *Hybrid-Elektrobusse*

Seit 1979 werden in einem weitgehend durch die öffentliche Hand geförderten Versuch sogenannte Hybrid-Elektrobusse der Firma Daimler-Benz bei den Verkehrsbetrieben der Städte Stuttgart (13 Busse) und Wesel (7 Busse) erprobt. Diese Hybrid-Elektrobuse fahren in dicht besiedelten Gebieten rein batterieelektrisch, also leise und abgasfrei. In weniger dicht besiedelten Aussenbezirken kann ein Dieselgenerator zugeschaltet werden, der bei konstanter Drehzahl abgas- und verbrauchsoptimiert für den Fahrstrom und das Wiederaufladen der Batterie sorgt. In seiner Reichweite wie herkömmliche Fahrzeuge nur durch den Tankinhalt begrenzt, verbindet der Hybrid-Elektrobus so die Vorteile des Dieselantriebs mit den Vorzügen des Elektroantriebs.

- *Elektrotransporter*

Das von der GES betreute Elektrotransporterprogramm begann 1974 und umfasste ursprünglich 130 Fahrzeuge (60 Mercedes-Benz und 70 VW) bei 45 Unternehmen in verschiedenen Städten der Bundesrepublik, in West-Berlin sowie in der Schweiz. Die dabei gewonnenen Erfahrungen mit den teilweise seit mehreren Jahren zur vollen Zufriedenheit der Betreiber im täglichen Praxistest befindlichen Elektrotransportern beweisen, dass der Einsatz von Elektrofahrzeugen in Ballungsgebieten nicht nur möglich ist, sondern in den stark abgas- und lärmbelasteten Innenstädten eine ebenso umweltfreundliche wie energiewirtschaftlich sinnvolle Alternative bzw. Ergänzung zum herkömmlichen Fahrzeug darstellt. Jährliche Fahrleistungen von 12 000 km bei fünftägigem Einsatz pro Woche sind keine Seltenheit. Leider mussten die Elektrotransporter der sogenannten 1. Generation wegen starker Korrosion am konventionellen Fahrzeugkörper aus dem Betrieb genommen werden, so dass zurzeit nur noch etwa 85 Fahrzeuge am Versuch beteiligt sind.

- *Elektro-Personenwagen*

Derzeit konzentriert sich das Schwergewicht der Arbeit der GES auf die Entwicklung eines Elektromobils für den Individualverkehr. Auf der Basis des VW-Golf montiert die Fa. Ernst Auwärter den «CitySTROMer» in kleiner Stückzahl (Fig. 2).

Die ersten 20 bis Ende 1983 gebauten CitySTROMer werden von der GES unter typischen Stadtverkehrsbedingungen von eigenen Mitarbeitern getestet, um die bei jedem neuen Produkt meist unvermeidlichen «Kinderkrankheiten» für die

Fig. 2
Der neueste CitySTROMer

ab Mitte 1984 projektierten weiteren Elektromobile auszuschliessen.
Da jedoch auch diese ersten CitySTROMer bereits an Interessenten innerhalb eines bundesweiten Versuchsprogramms unter vielfältig ausgewählten Einsatzbedingungen vergeben wurden, kann nach dem derzeitigen Stand mit einem Verkauf in der Bundesrepublik Deutschland erst ab Ende 1984 gerechnet werden.
Da alle Elektromobile derzeit noch serienfern unter grossem Personalaufwand umgerüstet werden, liegt der daraus resultierende Verkaufspreis zwangsläufig über dem des vergleichbaren Verbrennungsmotorfahrzeugs. Wenn man aber alle Vorteile dieser Technik saldiert: umweltfreundlich, da leise und abgasfrei, ölunabhängig und besonders langlebig, geringer Wartungsaufwand und günstige Betriebskosten – d.h. bei 30 kWh/100 km nur etwa 5 DM – kein Motoröl usw., dann sind das gute Gründe, sich auch mit dem CitySTROMer näher zu beschäftigen.

3. Entwicklung eines Elektro-Personenwagens

Die positiven Erfahrungen, die ausschliesslich in der Praxis gesammelt wurden, mussten konsequenterweise zur Entwicklung eines Elektro-Pkw führen. Ein Fahrzeug, das handlich und wendig ist und für vier Personen und in der Stadt übliches Gepäck geeignet ist. So entstand der CitySTROMer auf der Basis eines VW-Golf. Von vier Vorläufern abgesehen, verrichten 20 CitySTROMer seit über einem Jahr täglich ihren Dienst. Hier wird erstmals konsequent das praktiziert, was einem Elektrofahrzeug die notwendige Bewegungsfreiheit bei den Aufgaben eines Nahverkehrsfahrzeugs gibt. Durch einen fest eingebauten Bordlader kann an jeder 220-V-Steckdose nachgeladen werden. Nutzt man also die vielen Standzeiten, so steht für fast jeden Fahrschritt ein vollgeladener Energiespeicher zur Verfügung. Tagesreichweiten von 80 bis 90 km sind daher nicht aussergewöhnlich.

Welcher im Nahverkehr eingesetzte Pkw fährt aber wirklich so viel? 80 km pro Tag entsprechen bei 250 Einsatztagen immerhin einer Jahreskilometerleistung von 20 000 km. Der durchschnittliche Wert für hauptsächlich im Stadtverkehr eingesetzte Fahrzeuge liegt statistisch dagegen bei 8000 bis 9000 km pro Jahr.

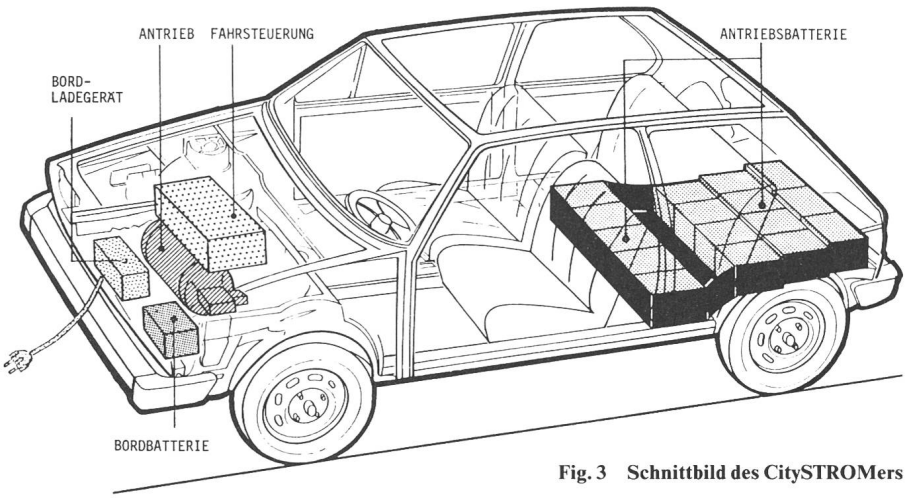

Fig. 3 Schnittbild des CitySTROMers

3.1 Alternative Technik in konventioneller Hülle

Aus Kostengründen wurden in Grossserie gefertigte Standardmodelle ausgesucht. Der Verbrennungsmotor mit allen Zusatzkomponenten wie Vergaser und Kühler sowie Tank werden ausgebaut. So ergibt sich genügend Raum, um den Elektromotor einschliesslich der elektronischen Steuerung einzubauen (Fig. 3).

Aus der Erfahrung hat sich die fremderregte Gleichstrommaschine durchgesetzt. Der Grund liegt in der einfacheren und verlustärmeren Möglichkeit, jeden beliebigen Betriebspunkt mit der Steuerelektronik einzustellen. Die Regelung erfolgt unterhalb der Eckdrehzahl der Gleichstommaschine durch einen elektronischen Ankersteller, darüber mit elektronischer Feldschwächung. Eine Umkehr auf Generatorbetrieb ist relativ einfach, so dass ein nicht unerheblicher Anteil der Bremsenergie als elektrische Nutzenergie rückgewonnen werden kann. Für die Bemessung des Antriebs ist wichtig, dass sich das Fahrzeug reibungslos in den Verkehrsablauf einfügt. Dazu gehört bei vorher festgelegtem zulässigem Gesamtgewicht ein gutes Beschleunigungsvermögen, eine ausreichende Steigfähigkeit und eine gewisse Reserve für höhere als in der Stadt übliche Geschwindigkeiten.

Hier kommt dem Entwickler die vom Verbrennungsmotor unterschiedliche Charakteristik zugute. Das Drehmoment einer Gleichstrommaschine ist bei konstanter Erregung direkt proportional dem Strom im Anker. Damit steht bereits bei Stillstand des Motors das volle Drehmoment zur Verfügung. Es kann also unter Berücksichtigung auch anderer Parameter eine geringere Motorleistung installiert werden. Die feste mechanische Übersetzung wird bei Nutzfahrzeugen und vollelektronischer Regelung so gewählt, dass bei Höchstdrehzahl eine Geschwindigkeit von 70 km/h erreicht wird. Dies reicht nicht für die Anforderungen an einen Elektro-Personenwagen; deshalb wird beim CitySTROMer das handgeschaltete, serienmässige 4-Gang-Getriebe beibehalten.

Zur Bemessung des Energiespeichers hat sich weltweit eine Faustformel bewährt, die von etwa 25% der zulässigen Gesamtmasse eines Elektrostrassenfahrzeugs für den Energiespeicher ausgeht, um dem Fahrzeug angemessene Fahreigenschaften und Reichweiten je Ladung geben zu können. Dieser Wert ist bei allen Fahrzeugen der GES eingehalten. Zum Einsatz kommen bis heute ausschliesschlich Blei-Säure-Speicher als sogenannte Panzerplatten-Batterien. Der ständige Wechsel der Belastung durch Ladungen und Entladungen wird von dieser für die Elektrotraktion entwickelten Batterie am besten verkraftet. Eine 6-V-Modultechnik erlaubt den Einsatz in verschiedenen Fahrzeugtypen (2-V-Module bei Bussen) und mit unterschiedlichen Spannungen. Die Reparatur des Energiespeichers wird so vereinfacht und kostengünstiger. Durch den Austausch einzelner Module kann der Energiespeicher mit geringem finanziellem Aufwand weiterverwendet und muss nicht insgesamt getauscht werden.

Dies ist z.B. dann der Fall, wenn durch fertigungstechnisch bedingte Toleranzen die Kapazität der einzelnen Module auseinanderläuft. Eine

Unterspannungsabregelung schützt die Batterie vor Tiefentladungen und damit der Zerstörung.

3.2 Betriebsweise bestimmt Reichweite

Bei Ausnutzung der installierten Antriebsleistung werden der Batterie je nach Fahrweise Stromstärken zwischen 100 und 150 A mit gelegentlichen, wenn auch kurzzeitigen Spitzen bis 300 A entnommen. Bei Belastung mit hohen Strömen sinkt die Säuredichte des Elektrolyten in den Poren der Platten sehr viel schneller ab, als etwa durch Nachdiffusion ausgeglichen werden könnte. Die entnehmbare Kapazität sinkt dementsprechend auf etwa 90 bis 100 Ah ab, wobei im tiefsten Entladebereich mit einem leichten Rückgang der Fahrleistungen gerechnet werden muss. Es wurde vorläufig festgelegt, dass zur Schonung der Batterie nicht mehr als 80 Ah entnommen werden sollen. Bei einem Strom von 100 A, der dem Fahrzeug eine mittlere Geschwindigkeit von 60 km/h vermittelt, kann man also 48 Minuten oder 48 km weit fahren, bei einem Strom von durchschnittlich 175 A nur noch 27 Minuten. Dieser Strom fliesst bei 80 km/h und reicht damit für 37 km. Er fliesst aber auch als Durchschnittswert beim Stop-and-go-Betrieb in der Stadt, so dass auch dort etwa 40 km Fahrstrecke möglich sind. Es wurde bewusst eine normalerweise nicht anzutastende Reserve vorgesehen, die je nach Fahrweise zusätzlich für 10 bis 20 km reicht. Dies sind die Fakten, die sich aus dem Einsatz der heutigen Bleibatterie ergeben und die zunächst den grösstmöglichen Fahrschritt aus einer vollgeladenen Batterie begrenzen.

Damit ist aber noch nichts ausgesagt darüber, welche Tagesfahrstrecke möglich ist. Diese vielmehr wird bestimmt durch die Auslegung des Ladegerätes und des zur Verfügung stehenden Netzanschlusses.

Die Batterie verträgt im teilentladenen Zustand Zwischennachladungen mit Stromstärken bis zum einstündigen Entladestrom, kurzzeitig sogar mehr. Man nutzt dies beim Elektrobus-Betrieb aus und erreicht so Tagesfahrleistungen von 200 bis 300 km.

Der CitySTROMer wurde mit einem Bordladegerät ausgerüstet, welches gleichstromseitig maximal 15 A entsprechend einer Ladeleistung von etwa 1,6 kW in die Batterie einspeisen kann. Der gegebenen Ladekennlinie folgend, fliessen im Mittel etwa 10 A. Dies entspricht je Stunde einer Energieeinspeisung für etwa 5 bis 6 km Fahrstrecke.

Nutzt man alle Standzeiten zum Nachladen, so kann man die Tagesfahrleistungen ohne Probleme auf 80 bis 90 km erhöhen, was für die allermeisten Anwendungsfälle völlig ausreicht.

Von besonderem Interesse waren die Verbrauchswerte. Im gemischten Verkehr schwankt der gleichstromseitige Durchschnittsverbrauch, abhängig von der Fahrweise und der Art des Einsatzes, zwischen 16 und 18 kWh je 100 km. Der wechselstromseitig gemessene Verbrauch an elektrischer Endenergie wurde zunächst nur stichprobenartig erfasst. Die Werte schwankten anfangs zwischen 38 und 42 kWh je 100 km, wobei der geringere Verbrauch zu den Fahrzeugen mit der grösseren täglichen Fahrleistung gehört. Dies gab den Hinweis darauf, sich mit der Einstellung der Ladegeräte zu befassen. Nachgewiesen wurde inzwischen, dass ein Bruttoverbrauch von 32 bis 35 kWh je 100 km lediglich durch Änderung der Ladeverfahren erreicht wird.

3.3 Zukunftsaussichten

Es würde an dieser Stelle zu weit führen, alle Höhen und Tiefen der Versuchsprogramme zu erläutern. Oft haben Kleinigkeiten aus dem konventionellen Bereich zu nicht unerheblichen Störungen und damit längeren Ausfallzeiten geführt. Elektromotoren, als zuverlässig und wartungsarm bekannt, vertrugen sich nicht mit den in einem Kraftfahrzeug üblichen Bedingungen wie Feuchtigkeit, Staub, Streusalzen und ständigen Erschütterungen. Doch diese Probleme sind heute nach insgesamt 15 Mio km über alle Versuchsprogramme weitgehend gelöst.

Probleme gibt der Energiespeicher auf - Lebensdauer, Leistungs- und Energiedichte und Wartungsarmut stehen an erster Stelle der noch weiter zu verbessernden Batterien.

Immerhin ist mit dem derzeitig verfügbaren Technologien eine Batterie-Lebensdauer von etwa 60 000 km erreichbar, bei Elektrobussen wurden über 100 000 km erreicht.

Auch ist damit zu rechnen, dass in den nächsten Jahren neue Energiespeicher z.B. auf Natrium-Schwefel-Basis im Markt eingeführt werden. Damit wird das derzeit noch als Handicap empfundene Gewichts- und Reichweitenproblem weiter minimiert. Für die Erschliessung des Marktes sind jedoch auch die Kosten entscheidend. Bei heute noch weitgehender Handfertigung entfallen allein 40 bis 50% des Gesamtpreises auf Lohnkosten.

Ein CitySTROMer kostet damit soviel wie ein Pkw der gehobenen Klasse. Selbst bei grossen Stückzahlen bleibt ein Mehrpreis. Dafür gibt es eine «Sonderausstattung», die die Befriedigung und vielleicht das Vergnügen schafft, im Nahverkehr abgasfrei, leise und ölunabhängig zu fahren. Zusammenfassend kann gesagt werden: 15 Mio km in der Praxis bieten die Voraussetzung für eine erprobte Technik, die im Zusammenspiel von konventionellen Bauteilen, Elektromotor und elektronischer Steuerung funktioniert. Statistisch wird heute eine Störung auf 10 000 bis 15 000 km registriert, was noch verbessert werden kann. Der Energiespeicher erfüllt schon weitgehend die Anforderungen an ein Nahverkehrsfahrzeug, wird aber in Zukunft weitere Verbesserungen erfahren. Der Markt wird langsam wachsen und damit die Produktionskosten senken.

Und im Zusammenhang mit niedrigeren Betriebskosten und einer höheren Lebensdauer wird das Elektrofahrzeug eine echte Alternative sein, um unsere Umwelt in Ballungsgebieten und vor allem Grossstädten zu entlasten.