Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 13

Artikel: Energieversorgung von Elektromobilen

Autor: Kolen, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904637

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Energieversorgung von Elektromobilen

P. Kolen

Die Energieversorgung von Elektromobilen ist gekennzeichnet durch eine Reihe von Anforderungen, die von seiten der zu versorgenden Batterie, des Versorgungsnetzes, des Elektrofahrzeuges selbst und des Betreibers an die Versorgungseinrichtungen herangetragen werden. In dem vorliegenden Beitrag wird die daraus resultierende Vielschichtigkeit der Energieversorgung von Elektromobilen zusammen mit den gegenseitigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen vorgestellt.

L'alimentation en énergie d'automobiles électriques pose toute une série d'exigences au système d'alimentation provenant de la batterie à alimenter, du réseau d'alimentation, de l'automobile elle-même, ainsi que de l'exploitant. Ces aspects multiples de l'alimentation en énergie sont exposés ici, de même que leurs interdépendances et interactions.

Vortrag anlässlich der SEV-Informationstagung «Elektrische Strassenfahrzeuge: heute und morgen», am 20. November 1984 in Bern.

Adresse des Autors:
Dipl.-Ing. *Peter Kolen*, GES Gesellschaft für elektrischen Strassenverkehr mbH, D-4300 Essen 1.

1. Einleitung

Die ursprüngliche und damit wohl auch die wesentlichste Aufgabe der Energieversorgung von Elektromobilen ist es, der Batterie – d.h. heute noch fast ohne Ausnahme der Blei-Säure-Batterie – die Energie wieder zuzuführen, die ihr während des Fahrbetriebes entnommen worden ist. Die Versorgungseinrichtungen stellen somit aus der Sicht des Energieflusses das Verbindungsglied dar zwischen dem versorgenden Netz und dem Energiespeicher des Fahrzeuges.

Bei den Bordladegeräten, d.h. Versorgungseinrichtungen, die ständig im Elektrofahrzeug mitgeführt werden, kommen neben der reinen Ladetechnik noch einige fahrzeugspezifische Gesichtspunkte zum Tragen. Das Elektrofahrzeug soll Gebrauchsgegenstand sein und deshalb möglichst anwendungsfreundlich ausgeführt werden; dies zieht auch für die Versorgungseinrichtungen gewisse Anforderungen nach sich (Fig. 1).

2. Betreiberspezifische Gesichtspunkte

Der Fahrer bzw. der Betreiber eines Elektrostrassenfahrzeuges muss nicht unbedingt mit den Einzelheiten der Funktionsabläufe der Versorgungseinrichtungen seines Fahrzeuges vertraut sein. Den Betreiber interessieren neben dem Kaufpreis in erster Linie die Bedienungsfreundlichkeit und der Nutzungswert seines Elektromobiles.

Der Anwender eines Elektrostrassenfahrzeuges muss sich darauf verlassen können, dass von seiten der Versorgungseinrichtungen dann, wenn die Steckverbindung zum Netz hergestellt ist, weitgehend automatisch diejenigen Vorgänge und Abläufe gesteuert, geregelt und überwacht werden, die im Interesse einer sorgfältigen Wiederaufladung des Energiespeichers erforderlich sind. Wichtig für den Fahrer ist dabei eine Rückmeldung über den Ladezustand der Batterie bzw. über den Fortgang der Wiederaufladung.

Durch die Versorgungseinrichtungen kann auch der Nutzungswert eines Elektromobils beeinflusst werden. So ist z.B. der Einsatz eines Bordladegerätes die Voraussetzung dafür, dass man die ohnehin anfallenden Standzeiten des Fahrzeuges konsequent zum Wiederaufladen der Batterie nutzen kann; auf diese Weise ist ohne weiteres die Verdoppelung der Tagesreichweite eines Elektrostrassenfahrzeuges möglich.

Wenn sich darüber hinaus die Kosten der Energieversorgung insgesamt in wirtschaftlich vertretbaren Grenzen halten, können die Ansprüche eines Betreibers an die Versorgungseinrichtungen in der Regel als erfüllt betrachtet werden.

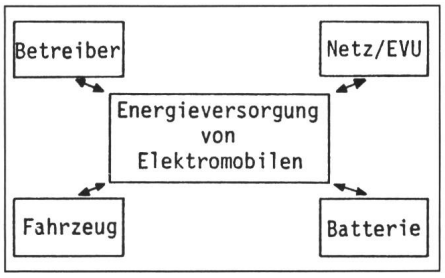

Fig. 1 Einflussgrössen und Wechselwirkungen bei der Energieversorgung von Elektromobilen

3. Fahrzeugspezifische Aspekte

Sofern Ladegeräte als Bordladegeräte in Elektromobilen ständig mitgeführt werden, spielen deren Gewicht und Volumen für die Unterbringung im Fahrzeug natürlich eine grössere Rolle, als dies bei stationären Ladegeräten der Fall ist. Wünschenswert sind hier kleine, kompakte Geräte mit be-

sonders guten Wirkungsgraden, einmal um die vom Netz angebotene Leistung gut auszunutzen, zum anderen, weil unter beengten Platzverhältnissen zuweilen auch das Abführen von Verlustleistung problematisch wird. Der mechanische Aufbau von Bordladegeräten muss den im Fahrzeug auftretenden Beanspruchungen genügen.

Wie auch bei anderen Komponenten des Elektrostrassenfahrzeuges zielt die Entwicklung von Bordladegeräten eindeutig in Richtung einer weiteren Zusammenfassung von bisher diskret aufgebauten Bauteilen und Baugruppen zu Funktionsmodulen sowie auch einer Mehrfachausnutzung von bestimmten Baugruppen. So kann z.B. die Baugruppe «Bordladegerät» in der Fahrzeugsteuerung für den CitySTROMer nach entsprechendem Umgruppieren einiger Kontakte während des Fahrbetriebes für die Bordnetzversorgung des Fahrzeuges genutzt werden [1].

Die Zielsetzung einer weiteren Integration umfasst aber auch die Zusammenfassung von bisher noch an verschiedenen Stellen des Fahrzeuges eingebauten und vollkommen unabhängig voneinander funktionierenden Einrichtungen zu untereinander kommunikationsfähigen und damit insgesamt leistungsfähigeren Einheiten. Für diesen Bereich bietet die Mikroprozessortechnik noch sehr viele Möglichkeiten.

4. Netzspezifische Gesichtspunkte

Bei den Wechselwirkungen zwischen den Versorgungseinrichtungen von Elektromobilen und dem Versorgungsnetz wird von einer Versorgungsphilosophie ausgegangen, die die Nutzung der in Form des Niederspannungsnetzes bereits vorhandenen Infrastruktur voraussetzt, die heute bis in jeden Haushalt reicht. Anschlussmöglichkeiten bzw. Entnahmestellen für die Ladeenergie sind damit im Prinzip in Form jeder normalen Steckdose vorhanden. Die maximale Anschlussleistung von Bordladegeräten ist auf die Leistung der Steckdose (3,5 kVA) abgestimmt. Unter bestimmten Voraussetzungen muss allerdings auch eine Begrenzung der Anschlussleistung (auf z.B. 2 kVA) möglich sein. Mit diesen Anschlussleistungen ergeben sich z.B. für den CitySTROMer Ladezeiten (für eine Volladung) in der Grössenordnung von 8 bis 12 h.

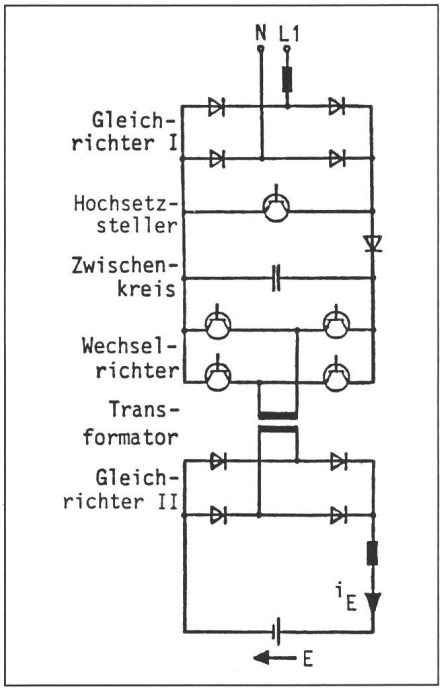

Fig. 2 Ladegerät in getakteter Technik (Prinzipschaltung)

Für die Energieversorgungsunternehmen (EVU) gehören ganzjährige Verbraucher mit niedriger Anschlussleistung und hoher Benutzungsdauer zu den besonders gern gesehenen Kunden. Bei Zwischenladungen kann der Batterie pro Stunde die einer Fahrstrecke von 5 bis 7 km entsprechende Energie (abhängig vom Ladezustand der Batterie) wieder zugeführt werden.

Hinsichtlich der Netzrückwirkungen von Ladegeräten sind in den letzten Jahren einige bedeutende Fortschritte erzielt worden [2]. Während man den Ladegeräten in konventioneller Technik (50-Hz-Netztransformator mit nachgeschalteter gesteuerter Thyristorbrücke) wegen der Oberschwingungsbelastung des Netzes und wegen des relativ hohen Blindleistungsbedarfes nicht unbedingt ein netzfreundliches Verhalten nachsagen konnte, ist es durch konsequente Weiterentwicklung und den Einsatz von modernster Technik in der Zwischenzeit gelungen, das Verhalten von Bordladegeräten (in der Leistungsklasse bis 3,5 kVA) bezüglich Netzrückwirkungen in fast idealer Weise dem eines ohmschen Widerstandes anzupassen. Erreicht wird dies durch den Einsatz von Ladegeräten in getakteter Technik mit Arbeitsfrequenzen im kHz-Bereich (Fig. 2). Durch entsprechende Steuer- und Regelverfahren werden die Schaltfrequenz und das Tastverhältnis für die Ansteuerung der Schalttransistoren gerade so moduliert, dass der zeitliche Verlauf des Eingangsstromes (Netzstromes) nach Kurvenform und Phasenlage praktisch dem Verlauf der Netzspannung entspricht (Fig. 3) [2; 3].

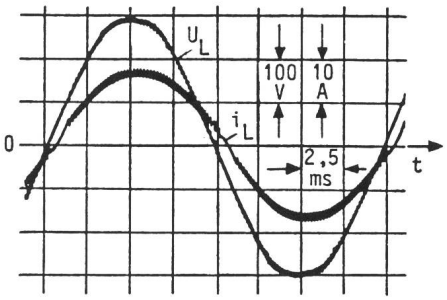

Fig. 3 Zeitlicher Verlauf von Netzstrom und Netzspannung eines modernen Ladegerätes mit sinusförmigem Eingangsstrom

Figur 4 zeigt als Ergebnis einer neueren Untersuchung von Bordladegeräten den Vergleich der Kurvenform des Eingangsstromes für ein schon weitgehend optimiertes Bordladegerät in konventioneller 50-Hz-Technik und für ein modernes Gerät mit Arbeitsfrequenzen im kHz-Bereich. Das modernere Gerät zeigt unabhängig von der Belastung einen fast ideal sinusförmigen Stromverlauf. Das konventionelle Gerät hat demgegenüber einen deutlich höheren Oberschwingungsanteil, speziell im Teillastbetrieb.

In den Figuren 5 und 6 sind die Amplituden der einzelnen Oberschwingungen als Summenspektrum aufgetragen. Während die Oberschwingungen des konventionellen Bordladegerätes die eingetragene Grenzwertkurve an einigen Stellen überschreiten und

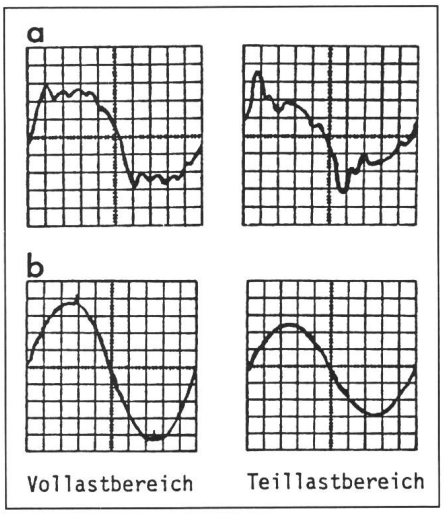

Fig. 4 Eingangsstrom eines Bordladegerätes in 50-Hz-Technik (a) bzw. in 20-kHz-Technik (b)

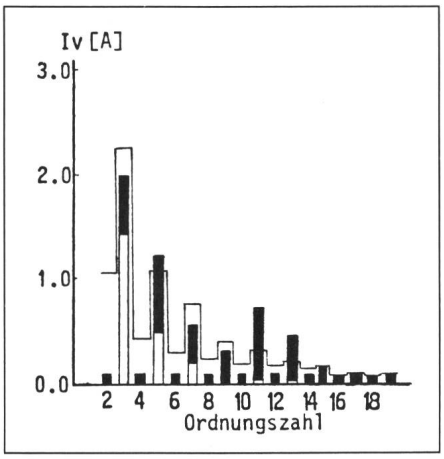

Fig. 5 Oberschwingungsamplituden eines 50-Hz-Bordladegerätes

Summendarstellung auf der Basis von 50 Einzelmessungen.
Schwarz: Bandbreite der während eines Ladevorganges auftretenden Oberschwingungsamplituden;
Grenzwertkurve: nach DIN EN 50006/VDE 0838, für Haushaltgeräte vergleichbarer Leistung

auch ansonsten im Mittel nur knapp unter den Grenzwerten liegen, zeigt das Gerät in getakteter Technik nahezu ein ohmsches Verhalten.

Die getakteten Ladegeräte weisen neben einer hervorragenden Netzfreundlichkeit noch weitere Eigenschaften auf, die ihrem Einsatz als Bordladegeräte entgegenkommen. Wegen der höheren Arbeitsfrequenzen können die modernen Geräte bei gleicher Leistung viel kleiner und viel kompakter gebaut werden; so wiegt z.B. ein konventionelles Bordladegerät für den CitySTROMer mit einer Anschlussleistung von 2 kVA etwa 30 kg. Ein getaktetes Bordladegerät, das als integriertes Ladegerät Bestandteil der Fahrzeugsteuerung der neuen CitySTROMer-Generation ist, wird bei einer Anschlussleistung von 3,5 kVA nur etwa 12 kg wiegen.

Die Bordladegeräte modernster Bauart weisen hervorragende Wirkungsgrade auf, die zusammen mit dem besseren Oberschwingungsverhalten und dem verschwindenden Blindleistungsbedarf zu einer um etwa 20% besseren Ausnutzung der vom Netz aufgenommenen Energie führen [2].

Abhängig vom gewählten Stellverfahren und von der Unterbringung des Gerätes im Fahrzeug bedarf die Problematik der Funk-Entstörung bei getakteten Geräten dieser Leistungsklasse allerdings einer besonderen Beachtung.

Hinsichtlich der Einflussfaktoren, denen die Versorgungseinrichtungen für Elektromobile in ihrem Zusammenwirken mit dem versorgenden Netz, dem zu versorgenden Fahrzeug selbst und auch mit dem Betreiber unterliegen, kann die Entwicklungsphase, soweit es die Grundlagenforschung und die Formulierung von Anforderungen angeht, als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden. Selbstverständlich wird es auch in Zukunft an den Leistungsteilen der modernen Geräte sowie an den Steuer- und Regelverfahren, die zu den genannten Eigenschaften führen, noch weitere Optimierungsarbeiten geben, einmal mit dem Schwerpunkt rationeller Fertigungsmethoden, zum anderen vor dem Hintergrund weiterer Integrationsschritte.

Für das Wiederaufladen der Batterie, der ursprünglichen und damit wohl wesentlichsten Aufgabe der Ladetechnik, gibt es dagegen noch eine Reihe von Fragen, die speziell für den Anwendungsfall Elektromobil dringend der Klärung bedürfen. Die weiteren Entwicklungsaktivitäten der GES und der Partner aus der einschlägigen Industrie konzentrieren sich deshalb auf die möglichen Wechselwirkungen zwischen den Versorgungseinrichtungen und der Batterie.

5. Batteriespezifische Gesichtspunkte

Beim Wiederaufladen soll der Batterie die Energie in einer Form und in einer Dosierung (Leistung) zugeführt werden, die diese aufzunehmen bereit und in der Lage ist. Umfangreiche Analysen [5; 6] haben ergeben, dass die Batterien von Elektrostrassenfahrzeugen in jeder Hinsicht spezifisch höher belastet werden, als die Batterien in anderen Traktionsanwendungen.

Der Betrieb von Elektrostrassenfahrzeugen im Individualverkehr ist viel mehr von Ungleichmässigkeiten und Unregelmässigkeiten gekennzeichnet als z.B. der Betrieb von Flurförderzeugen oder von batterie-elektrischen Bahntriebwagen. Es hat sich gezeigt, dass es unter Verwendung der klassischen und genormten Ladeverfahren bei Elektromobilen nicht möglich ist, den betrieblich bedingten Unregelmässigkeiten in angemessener Weise Rechnung zu tragen und auf diese Weise zu akzeptableren Lebensdauern zu kommen. Die Entwicklungsarbeiten gehen deshalb verstärkt

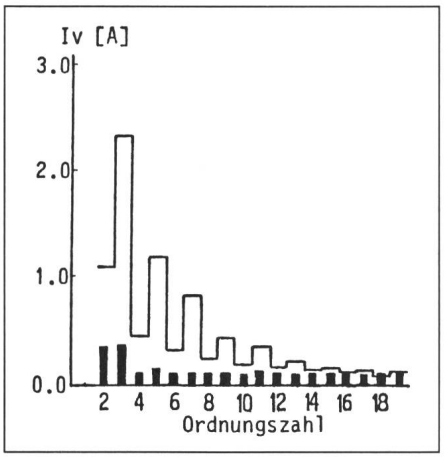

Fig. 6 Oberschwingungsamplituden eines 20-kHz-Bordladegerätes

Basis: 40 Einzelmessungen, sonst wie Figur 5

dahin, die Ladung und damit auch die Versorgungseinrichtungen als Mittel oder als Werkzeug zu erschliessen, mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Batterie auch über einen längeren Zeitraum in vollem Umfange aufrechtzuerhalten, was natürlich gleichbedeutend ist mit einer höheren Batterielebensdauer.

Die Zielsetzung entsprechender Entwicklungsarbeiten wurde in [4] vorgestellt. Im folgenden sollen die einzelnen Aufgaben kurz zusammengefasst werden.

- Voraussetzung für den Betrieb einer extrem beanspruchten Bleibatterie ist eine angemessene Betriebstemperatur, dazu gehören auch der Temperaturausgleich in jeder einzelnen Zelle sowie der Temperaturausgleich über dem gesamten Zellenverband der Batterie.
- Der Ablauf der Ladung selbst muss abhängig gemacht werden von der «Vorgeschichte» der Batterie, d.h. in erster Linie abhängig von Art und Umfang der vorausgegangenen Entladungen. Dabei sind Standzeiten und zwischenzeitlich bereits erfolgte Teil- und Zwischenladungen angemessen zu berücksichtigen.
- Eine Säureschichtung muss zum frühestmöglichen Zeitpunkt aufgehoben werden; besser noch muss die Entstehung einer Säureschichtung durch den Einsatz von Einrichtungen zur mechanischen Elektrolytumwälzung unterbunden werden.
- Die Gasbildung mit all ihren negativen Folgen für die Batterielebensdauer muss in jeder Hinsicht kontrolliert erfolgen.

- Bei intensivem Zwischenladebetrieb bedarf die notwendige Überladung der Batterie einer besonderen Beachtung.
- Für die Kriterien für den Ladeschluss (Volladezustand) ist eine Anpassung an den Betriebs- und Alterungszustand der Batterie erforderlich.
- Die Selbstentladung der Batterie muss durch geeignete Massnahmen kompensiert werden, ausserdem gilt es, den Einfluss der Korrosion zu minimieren.
- Wenn sich eine Überbeanspruchung der Batterie doch einmal nicht hat vermeiden lassen, muss die Ladetechnik die Mittel bereitstellen, um z.B. durch eine Sonderbehandlung zu einer Regeneration der Batterie zu kommen.
- Da das Ladeverhalten einer Zelle bzw. auch einer ganzen Batterie offensichtlich viel mehr Aufschluss über den Zustand einer Batterie geben kann als deren Entladeverhalten, liegt hier auch ein Ansatzpunkt für Selbsttest- und Diagnosefunktionen. Die bisher fast ausschliesslich rein prophylaktisch durchgeführten Wartungsarbeiten an Batterien könnten auf diese Weise auf ein unbedingt notwendiges Mass reduziert werden.

Diesen z.T. recht komplexen Aufgaben können die klassischen Ladeverfahren für Traktionsanwendungen nicht mehr gerecht werden. Dies gilt sowohl für die sogenannten ungeregelten Ladegeräte (Wa-, WoWa-Kennlinie) als auch für die geregelten Ladegeräte (IU-, IUIa-Kennlinie).

Moderne Versorgungseinrichtungen für Elektromobile müssen mit Ladeverfahren ausgestattet werden, die sich dem Zustand und den Bedürfnissen der Batterie selbsttätig anpassen können («adaptive Ladeverfahren»). Dies setzt natürlich voraus, dass die Batterie und ihre Versorgungseinrichtungen nicht mehr als unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen, sondern als ein *System,* das als Ergebnis der Weiterentwicklung der heutigen vielfach nur gesteuerten Ladeverfahren die Eigenschaften eines in sich geschlossenen Regelkreises aufweist.

Aufgrund der Ergebnisse erster Vorversuche kann festgestellt werden, dass eine adaptive Ladetechnik zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit und einer höheren Lebensdauer von Bleibatterien führen wird.

Literatur

[1] *J. Angelis, H. Scherf* and *F. Walkowiak:* Compact drive system for electric vehicles ready for series production. Seventh international electric vehicle symposium, Paris 1984; paper B II-1.

[2] *R. von Courbière, F. Klein, P. Kolen, F. Oosterhoff* und *R. Thomas:* Entwicklung eines neuen Ladegerätesystems. BMFT-Forschungsbericht T83-305, Fachinformationszentrum Karlsruhe 1983.

[3] *R. von Courbière:* Schaltleistungsvergleich von Batterieladegeräten mit sinusförmigem Netzstrom. etz-Archiv 3(1981)10, S. 335...339.

[4] *P. Kolen* and *M. Brühl:* General requirements for energy supply equipment for electric vehicle batteries. Seventh international electric vehicle symposium (EVS 7), Paris 1984; paper A III-3.

[5] *R. von Courbière:* Anforderungen an Traktionsbatterien für betriebstaugliche elektrische Strassenfahrzeuge und Wege zu deren Erfüllung. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 33(1983)12, S. 949...953.

[6] *R. von Courbière* and *F. Klein:* State of the art of lead-acid batteries for the Citystromer. Seventh international electric vehicle symposium (EVS 7) Paris 1984; paper A II-3.