

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: 26.01.2026

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.

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 ne-

ben 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.

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-

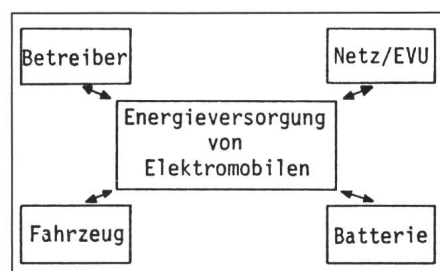


Fig.1 Einflussgrößen und Wechselwirkungen bei der Energieversorgung von Elektromobilen

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.

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 Bordladege-
räten muss den im Fahrzeug auftreten- den Beanspruchungen genügen.

Wie auch bei anderen Komponenten des Elektrostrassenfahrzeuges zielt die Entwicklung von Bordladege-
räten eindeutig in Richtung einer weiteren Zusammenfassung von bisher diskret aufgebauten Bauteilen und Baugrup-
pen zu Funktionsmodulen sowie auch einer Mehrfachausnutzung von be-
stimmten Baugruppen. So kann z.B. die Baugruppe «Bordladegerät» in
der Fahrzeugsteuerung für den CitySTROMer nach entsprechendem Um-
gruppieren einiger Kontakte wäh-
rend des Fahrbetriebes für die Bord-
netzversorgung des Fahrzeuges ge-
nutzt werden [1].

Die Zielsetzung einer weiteren Inte-
gration umfasst aber auch die Zusam-
menfassung von bisher noch an ver-
schiedenen Stellen des Fahrzeuges ein-
gebauten und vollkommen unabhän-
gig voneinander funktionierenden
Einrichtungen zu untereinander kom-
munikationsfähigen und damit insge-
samt leistungsfähigeren Einheiten. Für
diesen Bereich bietet die Mikroprozes-
sortechnik noch sehr viele Möglichkei-
ten.

4. Netzspezifische Gesichtspunkte

Bei den Wechselwirkungen zwi-
schen den Versorgungseinrichtungen
von Elektromobilen und dem Versor-
gungsnetz wird von einer Versor-
gungsphilosophie ausgegangen, die
die Nutzung der in Form des Nieder-
spannungsnetzes bereits vorhandenen
Infrastruktur voraussetzt, die heute bis
in jeden Haushalt reicht. Anschluss-
möglichkeiten bzw. Entnahmestellen
für die Ladeenergie sind damit im
Prinzip in Form jeder normalen Steck-
dose vorhanden. Die maximale An-
schlussleistung von Bordladege-
räten ist auf die Leistung der Steckdose (3,5
kVA) abgestimmt. Unter bestimmten
Voraussetzungen muss allerdings auch
eine Begrenzung der Anschlusslei-
stung (auf z.B. 2 kVA) möglich sein.
Mit diesen Anschlussleistungen erge-
ben sich z.B. für den CitySTROMer
Ladezeiten (für eine Vollladung) in der
Größenordnung von 8 bis 12 h.

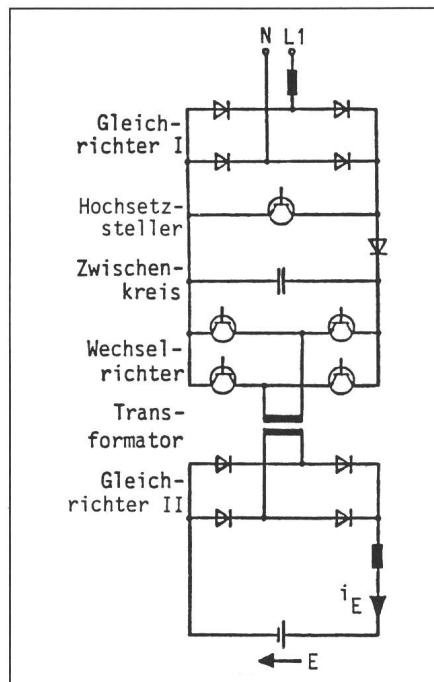


Fig. 2 Ladegerät in getakteter Technik (Prinzip-
schaltung)

Für die Energieversorgungsunter-
nehmen (EVU) gehören ganzjährige
Verbraucher mit niedriger Anschluss-
leistung und hoher Benutzungsdauer
zu den besonders gern gesehenen Kun-
den. Bei Zwischenladungen kann der
Batterie pro Stunde die einer Fahr-
strecke von 5 bis 7 km entsprechende
Energie (abhängig vom Ladezustand
der Batterie) wieder zugeführt werden.

Hinsichtlich der Netzurückwirkun-
gen von Ladegeräten sind in den letz-
ten Jahren einige bedeutende Fort-
schritte erzielt worden [2]. Während
man den Ladegeräten in konventionel-
ler Technik (50-Hz-Netztransformator
mit nachgeschalteter gesteuerter Thy-
ristorbrücke) wegen der Oberschwin-
gungsbelastung des Netzes und wegen
des relativ hohen Blindleistungsbedar-
fes nicht unbedingt ein netzfreundli-
ches Verhalten nachsagen konnte, ist
es durch konsequente Weiterentwick-
lung und den Einsatz von modernster
Technik in der Zwischenzeit gelungen,
das Verhalten von Bordladegeräten (in
der Leistungsklasse bis 3,5 kVA) be-
züglich Netzurückwirkungen in fast
idealer Weise dem eines ohmschen
Widerstandes anzupassen. Erreicht
wird dies durch den Einsatz von La-
degeräten 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 Schalttransi-

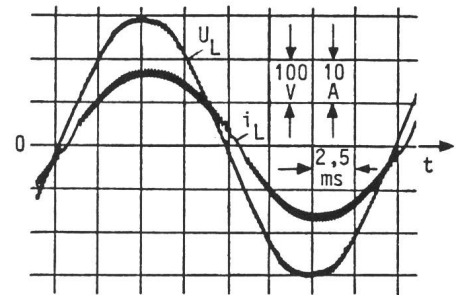


Fig. 3 Zeitlicher Verlauf von Netzstrom und
Netzspannung eines modernen Ladegerätes mit
sinusförmigem Eingangsstrom

storen gerade so moduliert, dass der
zeitliche Verlauf des Eingangsstromes
(Netzstromes) nach Kurvenform und
Phasenlage praktisch dem Verlauf der
Netzspannung entspricht (Fig. 3) [2; 3].

Figur 4 zeigt als Ergebnis einer
neueren Untersuchung von Bordla-
degeräten den Vergleich der Kurven-
form des Eingangsstromes für ein
schon weitgehend optimiertes Bordla-
degerät in konventioneller 50-Hz-
Technik und für ein modernes Gerät
mit Arbeitsfrequenzen im kHz-Ber-
eich. Das modernere Gerät zeigt un-
abhängig von der Belastung einen fast
ideal sinusförmigen Stromverlauf. Das
konventionelle Gerät hat demgegen-
über einen deutlich höheren Ober-
schwungsanteil, speziell im Teil-
lastbetrieb.

In den Figuren 5 und 6 sind die Am-
plituden der einzelnen Oberschwin-
gungen als Summenspektrum aufge-
tragen. Während die Oberschwin-
gungen des konventionellen Bordlade-
gerätes die eingetragene Grenzwertkurve
an einigen Stellen überschreiten und

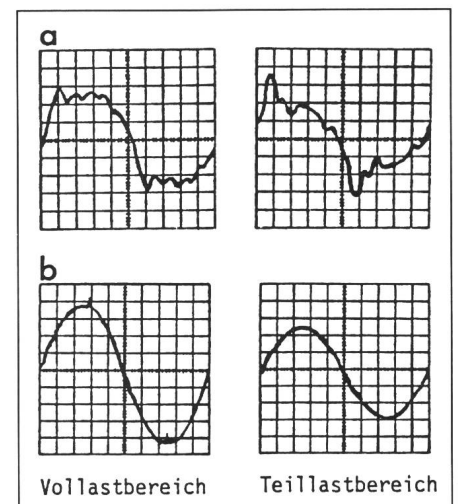


Fig. 4 Eingangsstrom eines Bordladegerätes in
50-Hz-Technik (a) bzw. in 20-kHz-Technik (b)

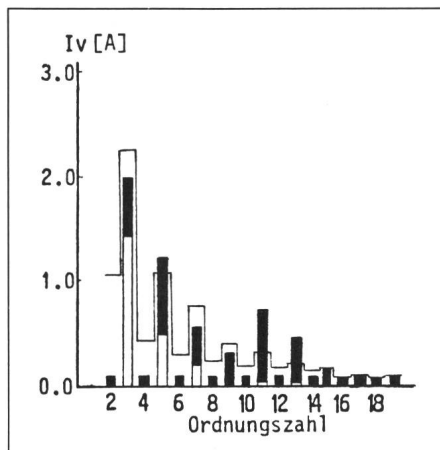


Fig. 5 Oberschwingungsamplituden eines 50-Hz-Bordladegerätes

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 Netzfrendlichkeit 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 Integrationschritte.

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

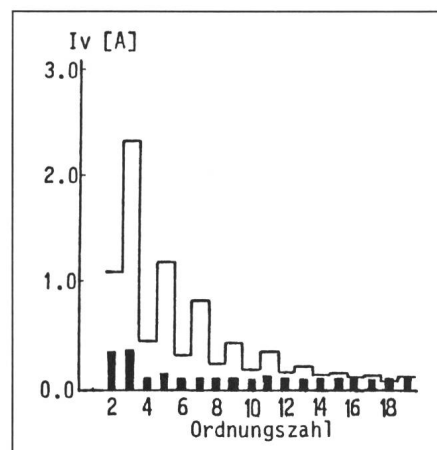


Fig. 6 Oberschwingungsamplituden eines 20-kHz-Bordladegerätes

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 Temperaturengleich in jeder einzelnen Zelle sowie der Temperaturengleich 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 ausschliess-

lich 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 unregelmässigen Ladegeräte (Wa-, WoWa-Kennlinie) als auch für die geregelten Ladegeräte (IU-, IU1a-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.