

# Selbstladefähige Busse vereinfachen Batteriebusseinsatz

Zusätzliche Ladegeräte werden auf diese Weise verzichtbar

Prof. Dr.-Ing. Adolf Müller-Hellmann, Bergisch Gladbach

Die elektrische Antriebstechnik breitet sich immer weiter aus. Sie hat den gesamten straßengebundenen Verkehr erfasst. Elektrofahräder und E-Roller boomen, die Post setzt bereits mehrere tausend Batteriefahrzeuge für ihr Paketgeschäft ein, die Serienfertigung von leichten E-Nutzfahrzeugen läuft, hochsichere Batteriesysteme mit größtmöglicher Energie- und/oder Leistungsdichte wurden entwickelt, mehrere Batteriefabriken werden gebaut, Zulieferfirmen liefern integrierte Achsantriebe, Elektro-Highways befinden sich in der Testphase, immer mehr Schnellladesäulen sind verfügbar, Elektrotankstellen mit hohen Ladeleistungen sind geplant, Fahrzeugkonzepte sind vorhanden, die zur Kostensenkung Elektro- und konventionelle Antriebe in einer Fertigungsstraße montierbar machen, schwere E-Nutzfahrzeuge befinden sich in der Erprobung, die Autoindustrie will viele E-Auto-Modelle in den kommenden Jahren liefern, China führt eine Quote für E-Autos ein, Verkehrsunternehmen betreiben erste Linien mit Batteriebussen, die Erarbeitung internationaler Normen ist bereits weit fortgeschritten und sogar erste E-Flugzeuge sind angekündigt.

Die Ladung der Batterie von Batteriebussen erfolgt bisher in der Regel mit zusätzlichen

Ladegeräten. Das ist sowohl bei der Ladung während der Betriebsruhe (Overnight charging) als auch bei der während der Betriebszeit (Opportunity charging) der Fall.

Die Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des elektrischen Antriebs eines Batteriebusses. Die von der Batterie gelieferte Gleichspannung wird von einem Wechselrichter in ein dreiphasiges Gleichspannungssystem mit variierbarer Amplitude und Frequenz zum Fahrbetrieb einer Drehfeldmaschine gewandelt. Beim Bremsbetrieb speist der Wechselrichter dann als Gleichrichter die nutzbare kinetische Energie des Busses in die Batterie.

## Ladung mit zentraler Drehstromversorgung

Versorgt man beim Overnight charging das Depot mit einer zentralen Drehstromversorgung, kann man vier Varianten (Abb. 2) unterscheiden.

### Variante 1

Das Batteriemangement-System des Batteriebusses stellt mittels eines Telegramms wireless oder induktiv die Ausgangs-Gleichspannung des externen Ladegerätes so ein, dass der gewünschte

Ladestrom fließt. Die zweipolige Energiezufuhr kann über Stecker oder Pantographen erfolgen. Der Bus wird beim Laden sicher geerdet.

### Variante 2

Das Batteriemangement-System des Batteriebusses stellt die Ausgangs-Gleichspannung des im Bus befindlichen Ladegerätes so ein, dass der gewünschte Ladestrom fließt. Die dreiphasige Energiezufuhr sowie die Erdung des Busses erfolgen mit einer Steckverbindung.

### Variante 3

Dieser Variante liegt folgende Überlegung zugrunde: Im Bremsbetrieb speist der Wechselrichter die Bremsenergie von der dreiphasig betriebenen Drehfeldmaschine als Gleichstrom in den Gleichspannungszwischenkreis und von dort aus in die Batterie. Statt mit der Drehfeldmaschine wird der Wechselrichter beim Laden mit einem Drehstromnetz des Depots verbunden. Der Wechselrichter arbeitet beim Laden also im Bremsbetrieb als Gleichrichter mit einer dreiphasigen Eingangsspannung konstanter Frequenz. Diese Variante ist anzustreben, da sie für den Ladebetrieb mit Stecker die aufwandsärmste ist, weil sie kein zusätzliches Ladegerät benötigt. Die dreiphasige Energiezufuhr sowie die Erdung des Busses erfolgen wieder mit einer Steckverbindung.

### Variante 4

Bei dieser Variante arbeitet der Wechselrichter im Gleichrichtermodus mit einer konstanten Zwischenkreissspannung. Der Batterieladestrom wird dann mit einem

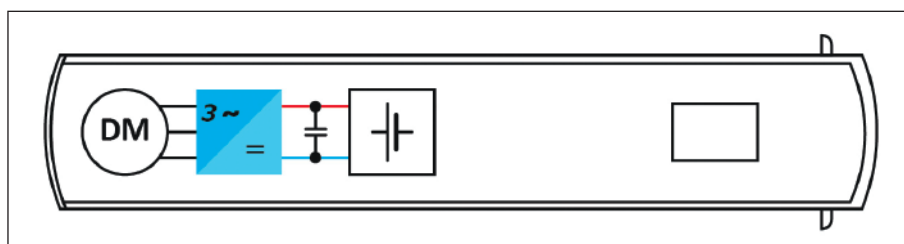


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau des Antriebs eines Batteriebusses.

zusätzlichen Gleichstromsteller geregelt. Diesen Schaltungstyp findet man zum Beispiel in praktisch allen rückspeisefähigen Fahrzeugen des ÖPNV. Der Gleichstromsteller wird bei diesen zur Regelung des Stromes in den Bremswiderständen verwendet, wenn das Netz die Bremsenergie nicht aufnehmen kann. Die erforderliche Potentialtrennung des Ladenetzes vom die Ladeenergie liefernden Netz wird durch den Transformator, der die Spannung des Mittelspannungsnetzes auf die Spannung des Depotnetzes reduziert, realisiert.

### Ladung mit zentraler Gleichspannungsversorgung

Versorgt man das Depot mit einer zentralen Gleichspannungsversorgung, wie es zum Beispiel bei den Betriebshöfen von Straßen- und Stadtbahnen der Fall ist, kann man die folgenden Varianten (Abb. 3) unterscheiden.

#### Variante 5

Das Batteriemangement-System stellt mittels eines Telegramms wireless oder konduktiv die Ausgangs-Gleichspannung des externen Gleichstromstellers so ein, dass der gewünschte Ladestrom fließt. Die zweipolige Energiezufuhr sowie die sichere Erdung des Busses können über Stecker oder Pantographen erfolgen.

#### Variante 6

Das Batteriemangement-System stellt die Ausgangs-Gleichspannung des im Bus befindlichen Ladegerätes so ein, dass der gewünschte Ladestrom fließt. Die zweipolige Energiezufuhr erfolgt über Stecker oder Pantographen. Der Bus wird durch den Pantographen oder den Stecker geerdet.

#### Variante 7

Da PWM-Wechselrichter sehr aufwandsarm als Hochsetzsteller umgruppiert werden können, kann dieser, versorgt mit der Gleichspannungsquelle des Depots, vom Batteriemangement-System zur Steuerung des Batterieladestroms eingesetzt werden. Auch diese Lösung kommt ohne zusätzliches Ladegerät aus. Die zweipolige Energiezufuhr sowie die Erdung des Busses erfolgen wieder über die Steckverbindung oder einen Pantographen. Die erforderliche Potentialtrennung wird in diesem Fall durch den Stromrichter-Transformator des Gleichrichter-Unterwerks hergestellt.



### Zum Autor

Prof. Dr.-Ing. Adolf Müller-Hellmann (73) ist Vorstandsmitglied des Forums für Verkehr und Logistik e.V. und Honorar-Professor am Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) der RWTH Aachen. Er war zehn Jahre bis 2008 Hauptgeschäftsführer des VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen).

Die Varianten mit einer Gleichspannungs-Ladeenergiezufuhr mittels Pantographen eignen sich gut für einen teilautonomen Betrieb eines Betriebshofs, da für den Ladevorgang keine manuellen Steckverbindungen herzustellen sind.

Die dargestellten Möglichkeiten der Nutzung des Antriebswechselrichters zur Batterieladung werden auch von Industrieun-

ternehmen propagiert. Abbildung 4 zeigt einen Auszug aus einer diesbezüglichen Pressemitteilung von Continental.

ABB verwendet bereits den jeweiligen Wechselrichter zur Batterieladung der zwölf vollelektrischen Busse vom Typ TOSA (Trolleybus Optimisation Systeme Alimentation) der Genfer Verkehrsbetriebe (TPG).

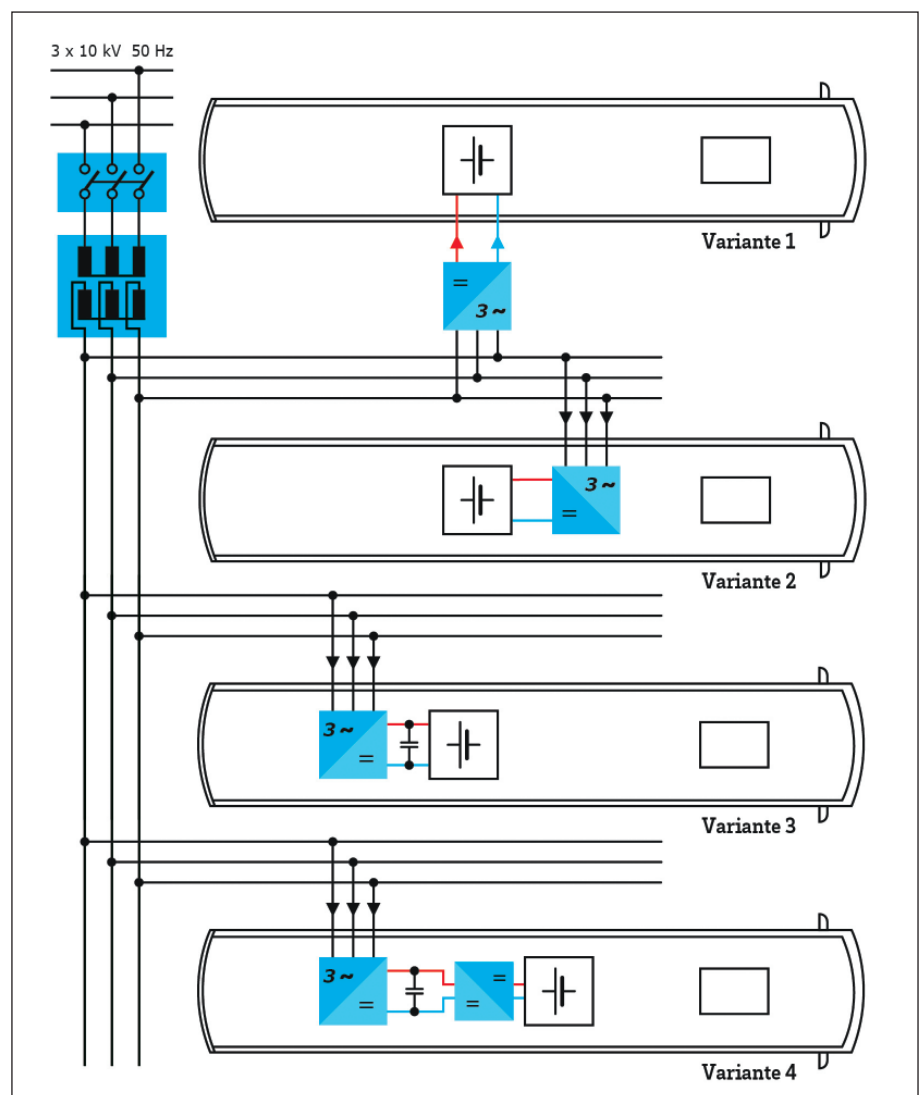


Abb. 2: Ladekonzepte für das Overnight charging in einem Depot mit zentraler Drehstromversorgung.

Grafiken: Adolf Müller-Hellmann

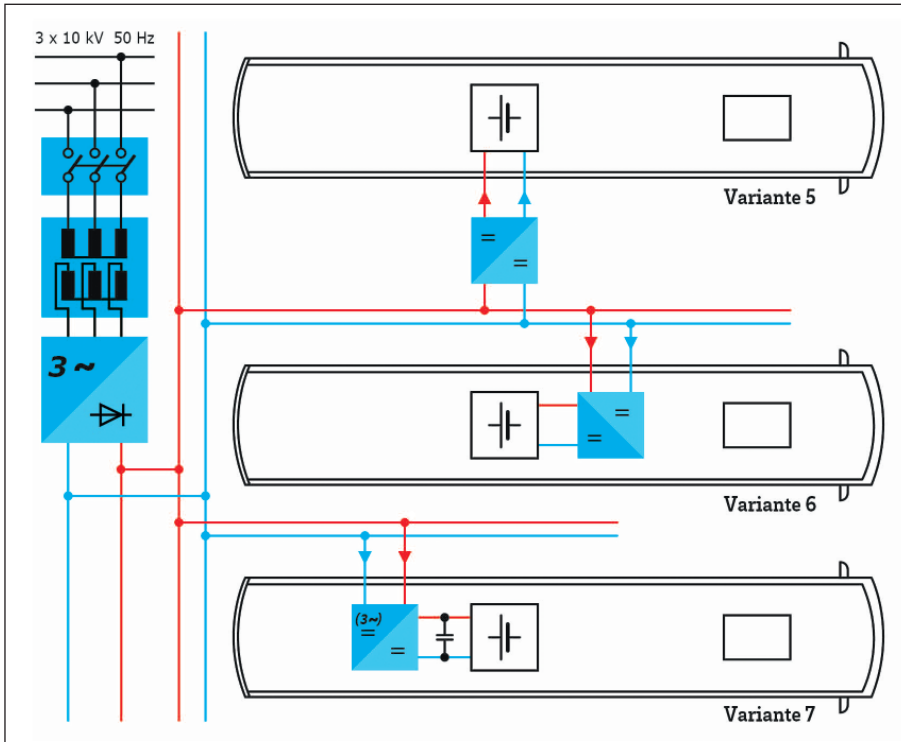


Abb. 3: Ladekonzepte für das Overnight charging in einem Depot mit zentraler Gleichspannungsversorgung.

Anstelle zusätzliche Ladetechnik für die unterschiedlichen Arten von Ladestationen ins Auto zu packen, macht Continental den elektrischen Antriebsstrang selbst zum „Ladegerät“. Dabei wird aus den Komponenten eines konventionellen elektrischen Antriebs ein komplettes Ladesystem. Alle dafür notwendigen Fähigkeiten besitzen die beteiligten Komponenten bereits, denn auch innerhalb des elektrischen Antriebsstrangs wird ständig zwischen Gleich- und Wechselstrom verschiedener Spannungslagen hin und her gewandelt.

### Selbstladefähigkeit versus Ladegeräte

Das Thema „Ladegeräte“ muss daher neu diskutiert werden. Es ist an der Zeit, die bisherigen Systemlösungen für den Einsatz von Batteriebusflotten einer kritischen Überprüfung zu unterziehen, denn Batteriebus-Systeme mit selbstladefähigen Bussen

– *erfordern keine zusätzlichen Ladegeräte, da die Antriebswechselrichter als Ladegerät ein-*

ANZEIGE

# Mehr Freude am Sparen.

## Die MultiClass 400.

Ob UL, H-Wagen oder die neuen business-Modelle: Die MultiClass bietet nicht nur genau das richtige Fahrzeug für Ihre Herausforderungen, sondern ist auch verblüffend wirtschaftlich. Wie effizient sie ist, rechnen wir Ihnen gerne vor. [www.setra-bus.com](http://www.setra-bus.com)



Ansichtsexemplar bereitgestellt über **Bus&Bahn**

setzbar sind. Dies gilt insbesondere für Batteriebusse mit Overnight charging, da die Ladeleistung für dieses Ladekonzept nur zirka 100 bis 150 kW beträgt. Bei Bussen, deren Batterie während der Betriebszeit zum Beispiel nach jedem Umlauf in sehr kurzer Zeit geladen werden sollen – daher eine hohe Ladeleistung benötigen – wäre zu prüfen, ob die Antriebswechselrichter strommäßig nach der betrieblich erforderlichen Ladeleistung und nicht nach der Antriebsleistung zu dimensionieren sind;

- **reduzieren den Aufwand für Telegrammstandardisierungen.** Da sich das Ladegerät im Fahrzeug befindet, ist keine Standardisierung für den Datenaustausch zwischen dem Batteriemangement-System und dem zum Ladegerät mutierten Wechselrichter erforderlich (Abb. 5);
- **ermöglichen die Beschaffung vollständig funktionstüchtiger Busse.** Im Gegensatz zu den Ladeinfrastrukturen im öffentlichen Raum gehen die der Verkehrsunternehmen nach dem Ablauf der Gewährleistungsfrist in das Eigentum der Unter-

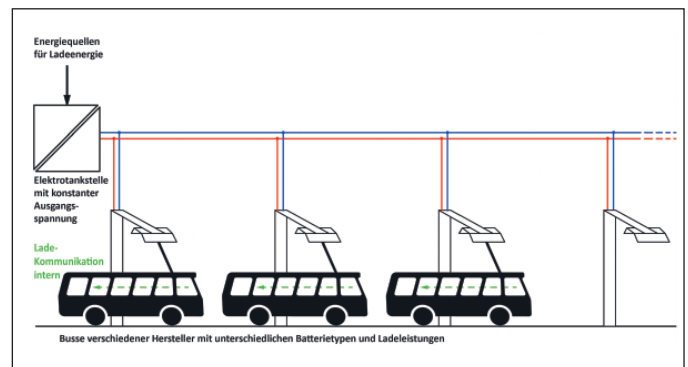
**All Charge-Lösung von Continental macht Elektroautos fit für jede Ladetechnik**

- Continental präsentiert weltweit erstmalig das neue Ladesystem „AllCharge“
- Die innovative Ladetechnik macht den elektrischen Antriebsstrang zum „Universal-Ladegerät“ für das kabelgebundene Laden an Ladestationen unterschiedlichster Technik
- Ob AC-einphasig; AC-dreiphasig oder DC-Schnellladen: Mit AllCharge kann das Fahrzeug stets die maximale Ladeleistung der Säule bis zu 800 V und bis zu 350 kW nutzen

Anstelle zusätzlicher Ladetechnik für die unterschiedlichen Arten von Ladestationen ins Auto zu packen, macht Continental den elektrischen Antriebsstrang selbst zum „Ladegerät“. Dabei wird aus den Komponenten eines konventionellen elektrischen Antriebs ein komplettes Ladesystem. Alle dafür notwendigen Fähigkeiten besitzen die beteiligten Komponenten bereits, denn auch innerhalb des elektrischen Antriebsstrangs wird ständig zwischen Gleich- und Wechselstrom verschiedener Spannungslagen hin und her gewandelt.

Abb. 4: Auszug aus der Pressemitteilung von Continental vom 29. Mai 2017.

Abb. 5: Selbstladefähige Busse verschiedener Hersteller mit unterschiedlichen Batterietypen und Ladeleistungen an einer Elektrotankstelle.



Ansichtsexemplar bereitgestellt über **Bus&Bahn**

The Sign of Excellence.

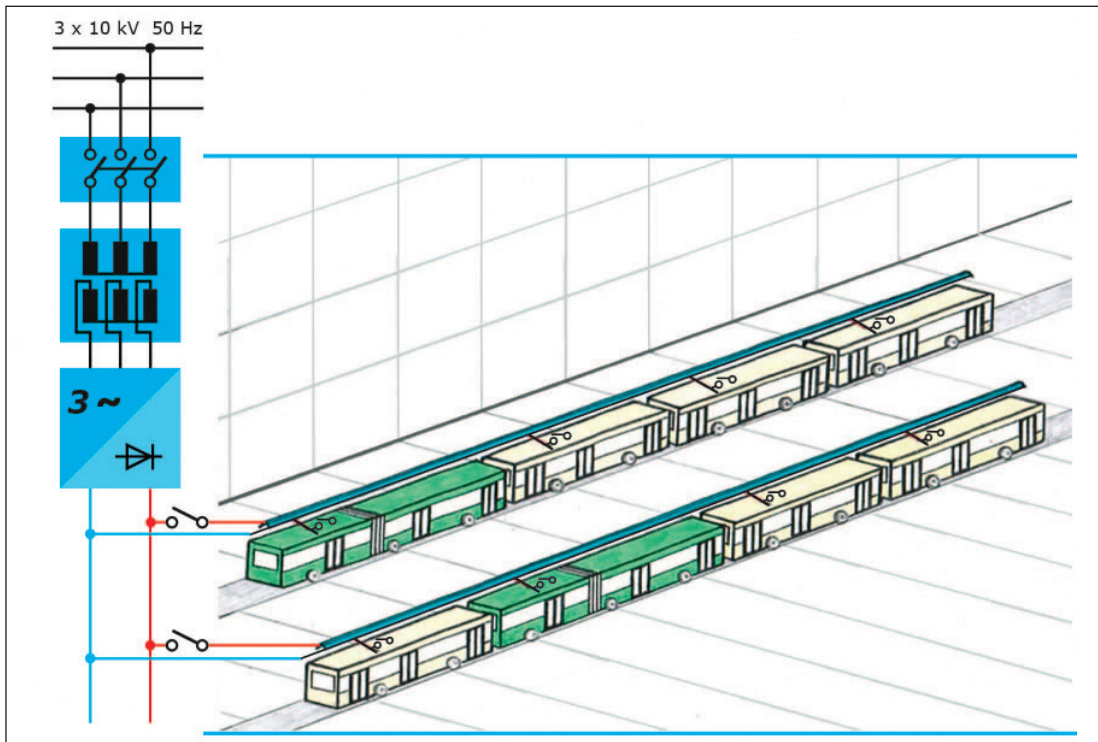


Abb. 6 Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Gleichspannungs-Ladeinfrastruktur für ein Batteriebus-Depot.

nehmen über. In der Regel müssen die Unternehmen daher dann zusätzliche Wartungsverträge mit den Lieferanten der Ladegeräte abschließen. Solche Konstellationen bilden oft die Basis für allseits bekannte „Black-Peter-Games“ in strittigen Störfällen und bei Haftungsproblemen. Diese lassen sich durch die Beschaffung selbstladefähiger Busse vermeiden;

- vereinfachen Depotlösungen. Aus der Abbildung 6 ist beispielhaft der prinzipielle Aufbau einer Gleichspannungs-Ladeinfrastruktur für ein Depot dargestellt. Die

Erzeugung der Gleichspannung kann kostengünstig mit standardisierten Komponenten von Gleichrichter-Unterwerken erfolgen;

- erleichtern den Weiterverkauf der Busse. Da selbstladefähige Busse die Ladeenergie selbstständig mit der batterieverträglichen Ladeleistung des Busses aus einer genormten Spannungsquelle entnehmen, sind sie überall einsetzbar, vorbehaltlich einer identischen Pantographen- beziehungsweise Stecker-Anwendung;
- erleichtern die Betriebsgenehmigung wegen

geringerem Flächenbedarf für Ladegeräte.

Der zusätzliche Flächenbedarf für externe Ladegeräte steht oftmals, insbesondere bei der Anwendung des Opportunity Charging Konzeptes, nicht zur Verfügung;

- sichern die kostengünstige Nutzung leistungsfähigerer Batterien. Die aktuell übliche batterie- und linienbezogene Auslegung der Ladeleistung externer Ladegeräte bei einem Opportunity charging Betrieb ist nicht zukunftsorientiert, denn die höhere Energie- und Leistungsdichte weiterentwickelter Bat-

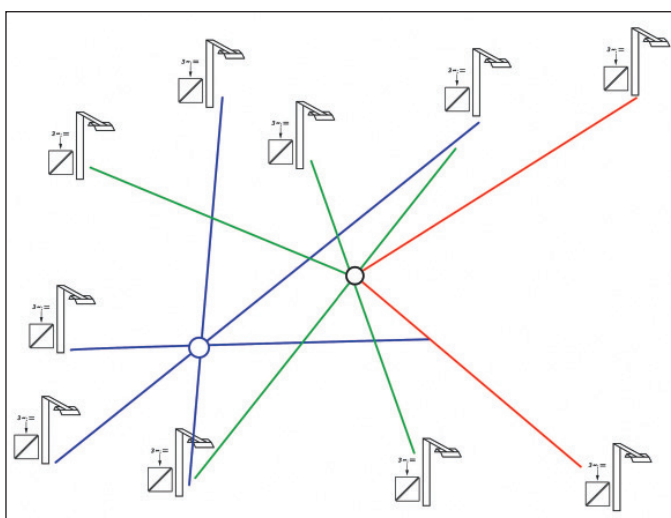


Abb. 7 Prinzipielle Darstellung von Elektrifizierungskonzepten für Buslinien mit Schnellladern an Linienendpunkten.

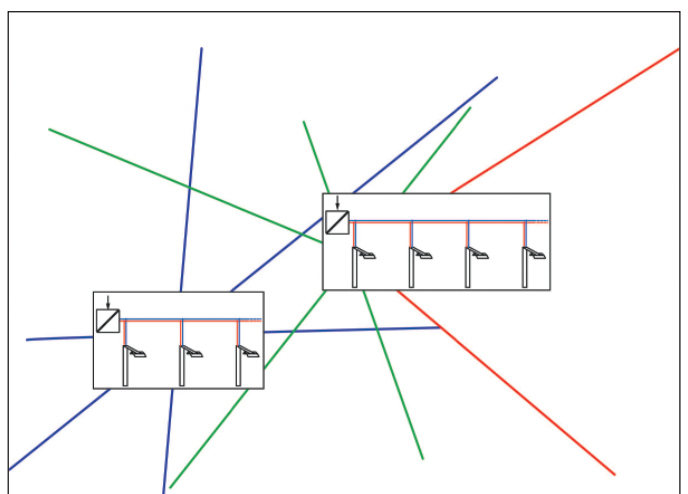


Abb. 8 Prinzipielle Darstellung von Elektrifizierungskonzepten für Buslinien mit selbstladefähigen Bussen und Schnellladetankstellen an Kreuzungspunkten mehrerer Linien.

terien ist wegen der vorgegebenen Ladeleistung der vorhandenen Ladegeräte nicht nutzbar;

- **senken signifikant die Systemkosten.** Viele Elektrifizierungskonzepte der Buslinien von Verkehrsunternehmen sehen die Errichtung von Schnellladestationen an Endpunkten von Linien vor (Abb. 7). Oftmals sind aber an diesen Stellen keine oder nur kostenaufwendig zu realisierende Mittelspannungsanschlüsse vorhanden.

Beim Einsatz selbstladefähiger Busse könnten aufwandsarm in Bus-Höfen und zentralen Haltestellen mehrere Pantographen (Abb. 5) mit der genormten Gleichspannung versorgt werden, die an diesen Orten in der Regel sehr leistungsfähig mittels Kabeln bereitgestellt werden könnte (Abb. 8).

### Resümee

Selbstladefähige Busse mit weitgehend identischen leistungselektronischen Komponenten für den Fahr-, Brems- und La-

debetrieb entsprechend der Anlage 2 der VDV-Schrift 230/1 „Rahmenempfehlung für elektrisch betriebene Stadt-Niederflur-Linienbusse (E-Bus)“ vom Juni 2017 sollten

wegen der beschriebenen vielfältigen Vorteile gegenüber Batteriebus-Systemen mit zusätzlichen Ladegeräten zukünftig ausgeschrieben werden.

### Literatur

[1] VDV-Schrift 230/1 „Rahmenempfehlung für elektrisch betriebene Stadt-Niederflur-Linienbusse (E-Bus)“ Juni 2017, Anlage 2 Integriertes Ladesystem, Selbstständig ladende Batteriebusse

[2] A. Müller-Hellmann, M. Schmitz, „Überlegungen zu zukünftigen Batteriebus-Systemen“, DER NAHVERKEHR 34 (2016), Heft 9, S. 28–32

[3] T. Patey, R. Flueckiger, J. Poland, D. Segbers, St. Wicki, „Laden wie ein Blitz“, ABB review 2016, H. 4, S. 8–12

[4] <https://www.continental-corporation.com/de/presse/pressemitteilungen/allcharge-loesung-von-continental-macht-elektroautos-fit-fuer-jede-ladetechnik-63852>

[5] A. Müller-Hellmann, „Überlegungen zu Batteriebus-Systemen“, DER NAHVERKEHR 35 (2017), Sonderheft Elektrobusse März 2017, S. 11–16

[6] VDV-Schrift 506 „Aufbau und Schutzmaßnahmen von elektrischen Energieanlagen in Betriebshöfen und Werkstätten von Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen“

[7] A. Müller-Hellmann, „Batteriebus-Systeme – Von der Vielfalt zum Standard?“, 8. VDV-Akademie Konferenz Elektrobusse – Markt der Zukunft! 7./8. März 2017 Berlin

[8] A. Grossl, J. Wilzig, Th. Rösch, „Effizienter und sauberer durch die Stadt. Antriebstechnologien von ZF für Linienbusse“, DER NAHVERKEHR 34 (2016), Heft 4, S. 47–50

[9] „ZeEUS eBus Report. An overview of electric buses in Europe“, ZeEUS project, 2016

[10] IEC 61851-23 „Electric vehicle conductive charging system – Part 23: DC electric vehicle charging station

[11] S. Preuß, „Bosch rollt Autobranche mit neuem Elektroantrieb auf“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 23. August 2017

[12] K. Fischer, „Ein Kessel Graues“, Wirtschaftswoche 10. Februar 2017

[13] M. Gropp, „Automesse unter Strom“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 13. September 2017

[14] „Elektrobusse im Nahverkehr kosten eine Milliarde Euro“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 08. August 2017

[15] Ch. Hunziker, „Immobilienbranche entdeckt die Mobilität“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 22. September 2017

[16] R. Köhn, „Autobahn unter Strom“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 25. September 2017

[17] „Daimler baut Batteriefabrik in den Vereinigten Staaten“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 22. September 2017

[18] „Neue Fabrik für E-Transporter geplant“, [http://www. Handelsblatt.com](http://www.Handelsblatt.com) (abgerufen am 27.09.2017)

[19] J. Becker, „Tiefer gelegt“, Süddeutsche Zeitung 23./24. September 2017

[20] J. Schelling, „Elektropiloten suchen den Aufwind“, Frankfurter Allgemeine Zeitung 26. September 2017

[21] Ch. Giesen, M. Högl, „China führt Quote für E-Autos ein“, Süddeutsche Zeitung, 29. September 2017

### Zusammenfassung/Summary

#### Selbstladefähige Busse vereinfachen Batteriebusseinsatz

Die Ladung der Batterie von Batteriebussen erfolgt bisher in der Regel mit zusätzlichen Ladegeräten sowohl bei der Ladung während der Betriebsruhe als auch während der Betriebszeit. Mit einer Analyse der unterschiedlichen Ladekonzepte werden Möglichkeiten verdeutlicht, wie die vorhandenen Antriebswechselrichter als Ladegeräte verwendet werden können und welche Vorteile sich dadurch bei der Realisierung und beim Betrieb von Batteriebuslinien ergeben.

#### Self-charging buses are simplifying battery bus use

The charge of the battery of battery buses is usually carried out with additional chargers in both the overnight charging and the opportunity charging. With an analysis of the different charging concepts, possibilities are shown as to how the existing drive inverters can be used as chargers and what advantages thereby result for the realization and operation of battery bus lines.

ANZEIGE

**Lufthansa Industry Solutions**

Ihr Partner für die Digitalisierung im ÖPNV  
 Smarte Mobilität dank Big Data Analytics.

SMART DATA im ÖPNV  
 21.11.2017 Hamburg  
[www.busundbahn.de/smartdata](http://www.busundbahn.de/smartdata)