



Studie

zum aktuellen Stand der Technik im Bereich alternative Antriebe für (schwere) Nutzfahrzeuge



Impressum

Herausgeber:

RKW Sachsen GmbH Dienstleistung und Beratung im World Trade Center Dresden Freiberger Str. 35 01067 Dresden

Telefon: +49 (0)351 8322-30 E-Mail: info@rkw-sachsen.de

Autoren:

Tim Alscher Andreas Wächtler, RKW Sachsen GmbH Dienstleistung & Beratung Thomas Keltsch, RKW Sachsen GmbH Dienstleistung & Beratung

Bildnachweis:

Titelbild IAV GmbH Abb. 1: DVB AG

Abb. 2: StreetScooter / Deutsche Post DHL Group

http://www.streetscooter.eu/presse (02.04.2017)

Abb. 3: Meyer Logistik
Abb. 4: Daimler Pressebild

http://media.daimler.com/marsMediaSite/Media/5Zd1mx0xWlZzXEvw9qz574 1sX88216e0Hj7TmYitKv7KAM10TBZ5NpI0w2JcT1PO/17488861 (23.05.2017)

Abb. 5: MAN Pressebild

https://media.man.eu/info/31689 (27.05.2017)

Abb. 6: Siemens Pressebild

www.siemens.com/presse (14.03.2017)

Abb. 7: Wacker Neuson SE

Diese Studie wurde im Rahmen des Projektes "eJIT – Just-in-Time-Logistiksystem auf elektromobiler Basis" publiziert und ist gleichzeitig Bestandteil der Masterarbeit des Verfassers Tim Alscher.

22. April 2017



Inhalt

1	Motivation	4					
2	Marktsituation	4					
3	Urbane Mobilität: Stadtbusse ohne Emissionen						
4	Paketdienste unter Strom: Umrüstung leichter Nutzfahrzeuge	6					
5	Verteilerverkehr I: Revolution in der Werkslogistik	8					
6	Verteilerverkehr II: Lebensmittellogistik in Berlin fährt elektrisch	9					
7	Was kann der Nutzfahrzeug-Markt aktuell bieten?	. 10					
8	Die Aktivitäten der OEM	. 11					
9	Eine Lösung für den Langstreckenverkehr	. 13					
10	Off-Highway Fahrzeuge	. 14					
11	Umdenken: neue Wege gehen	. 15					
12	Zusammenfassung aktueller Stand	. 16					
13	Übersicht zu elektrischen Nutzfahrzeugen (Auswahl)	. 18					
۸ h h :	ldungayar-aighnia						
	ldungsverzeichnis						
Abbilo	dung 1: Solaris Urbino 12 Electric der DVB beim Nachladen an der Endhaltestelle	5					
Abbilo	dung 2: Der StreetScooter Work in den Farben der Deutschen Post DHL Group	7					
Abbilo	dung 3: Der EFORCE fällt durch seine grüne Farbgebung auf	9					
Abbilo	dung 4: Mercedes-Benz Urban eTruck	. 12					
Abbild	dung 5: Die elektrifizierte MAN-Sattelzugmaschine	. 12					
Abbild	dung 6: Ein Siemens-Versuchsfahrzeug in Schweden	. 13					
Abbilo	dung 7: An der Steckdose tanken - knickgelenkter Radlader Wacker Neuson WL20e	. 14					
Abbilo	dung 8: Entwicklung in den Fahrzeugklassen seit 2010 (mit Angabe	der					
Batter	riekapazität)	. 18					
Abbild	dung 9: Tabelle	. 19					

^{***} Die Begriffe Batterie und Akku werden gleichbedeutend als Bezeichnung für den Energiespeicher im elektrifizierten Antriebsstrang verwendet, gleichwohl sind sich die Autoren über den technischen Unterschied bewusst.***



1 | Motivation

Aktuell ist die Automobilbranche im Wandel. Es findet eine Abkehr von Verbrennungsmotoren fossiler Energieträger statt. Dies ruft ein Umdenken der Entwicklungsingenieure auf den Ebenen der Transport-, Logistik- und Verkehrssysteme hervor. Derzeit ist die am häufigsten anzutreffende Alternative der batterieelektrische Antrieb. Die Bundesregierung fördert u.a. den Kauf von elektrisch angetriebenen Personenkraftwagen¹, um den Wandel voranzutreiben. Das oberste Ziel ist der **Umwelt- und Klimaschutz**, aber auch **wirtschaftliche Gesichtspunkte** zwingen zu Neuerungen. Das Bruttosozialprodukt einer Volkswirtschaft zeigt einen proportionalen Zusammenhang mit deren erbrachter Transportleistung.² Eine starke Volkswirtschaft benötigt demnach ein starkes, wettbewerbsfähiges Transportsystem.

2 | Marktsituation

Die hohe Dynamik der Entwicklung von Traktionsbatterien sorgt für eine kontinuierliche Verschiebung der Break-Even-Punkte von batterieelektrischen Fahrzeugen. Alternative Antriebe müssen speziell im urbanen Bereich eingesetzt werden. An dieser Stelle ist eine hohe Lebensqualität durch verringerte Lärm-und Feinstaubbelastung ein immer bedeutenderes Thema.³ Dieser Trend wurde auch in der Nutzfahrzeugbranche erkannt. Doch während im Bereich der Pkw bereits von zahlreichen Modellen vollelektrische Varianten auf dem Markt erhältlich sind, liegen die Lastkraftwagen noch zurück. Zeitgleich ist die Verbannung von Dieselfahrzeugen aus Innenstadtbereichen ein fortwährender Gegenstand in den Medien.⁴ Es stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten sich dem kosten- und umweltbewussten Spediteur bieten und welche Entwicklungen in der Industrie aktuell verfolgt werden.

Als Flaschenhals des batterieelektrischen Antriebs muss der Energiespeicher angesehen werden. Zum einen sinken die Preise und steigen die möglichen Energiedichten immer weiter, sodass der Einsatz dieser Technik im Nutzfahrzeug immer sinnvoller erscheint. Andererseits unterliegen die Batterien

¹ Bezuschussung von 4.000,- € für den Kauf eines rein elektrisch angetriebenen Fahrzeuges; Quelle: https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Infodienst/2016/05/2016-05-18-elektromobilitaet.html (28.02.2017)

² Vgl. Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt (2011): Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Technologien, Märkte und Implikationen. 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden (ATZ/MTZ-Fachbuch).

³Vgl. Bogdan Ovidiu; Iclodean, Calin; Mariasiu, Florin (2016): Electric and Hybrid Buses for Urban Transport. Energy Efficiency Strategies. Cham, s.l.: Springer International Publishing (Green Energy and Technology).

⁴ Vgl.: https://www.electrive.net/2017/03/01/fahrverbote-in-muenchen-ab-2018-moeglich/ (06.03.2017)



einem unaufhaltsamen Alterungsprozess. Der State of Health (SOH) gibt die nutzbare Kapazität an, welche im Laufe der Zeit abnimmt. Abhängig vom Nutzungsverhalten (Ladestrategien, Fahrsituationen, etc.) findet dieser Prozess beschleunigt statt. Auch hohe und tiefe Temperaturen schädigen die Batterie. Daher werden häufig Klimaanlagen für den Energiespeicher verbaut. Eine Auswertung des SOH bei 100 TESLA-Kunden ergab, dass der Akku nach umgerechnet 160.000 km Fahrleistung noch immer eine nutzbare Kapazität von 80 bis 85 % der Ursprungskapazität zur Verfügung stellt. Fällt der SOH zu stark ab, muss der Energiespeicher ersetzt werden.

3 | Urbane Mobilität: Stadtbusse ohne Emissionen

Im städtischen Personennahverkehr existieren bereits seit einigen Jahren verschiedene Projekte, die den Alltagseinsatz von **Stadtbussen mit alternativen Antrieben** auf die Probe stellen. Die Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB) kann beispielhaft genannt werden.⁶ Insgesamt 18 Busse mit Hybridantrieb befinden sich derzeit auf unterschiedlichen Streckenführungen im Einsatz. Seit 2015 wird ein vollelektrischer Bus des polnischen Herstellers **Solaris** auf einer der Leistungsfähigkeit entsprechenden Strecke getestet. Das Nachladen der Energiespeicher erfolgt an der Endhaltestelle des Rundlaufs durch Ausfahren eines Stromabnehmers. Die große Relevanz dieses Projektes unterstreicht Prof. Bernhard Bäker, Inhaber der Professur für Fahrzeugmechatronik an der TU Dresden:

"Elektrifizierte Stadtbusse [stellen] für die urbane Mobilität der Zukunft eine Schlüsselfunktion dar."⁷



Abbildung 1: Solaris Urbino 12 Electric der DVB beim Nachladen an der Endhaltestelle

Im Stadtverkehr kann der Elektroantrieb seine Vorteile voll ausspielen. Beim Bremsen erfolgt eine Funktionsumkehr im Elektromotor. Dabei arbeitet dieser als Generator, der die kinetische Energie des Fahrzeuges in elektrische Energie wandelt (Rekuperation). Die Batterien speichern

gewonnene

die

⁵ Vgl.: http://www.elektroniknet.de/elektronik-automotive/elektromobilitaet/wie-lange-lebt-die-batterie-122421.html (17.04.2017)

Energie.

⁶ Vgl.: https://www.dvb.de/de-de/die-dvb/zukunftsprojekte/elektromobilitaet/ (06.03.2017)

⁷ Vgl. Pressemitteilung der Dresdner Verkehrsbetriebe AG "Erste E-Buslinie Sachsens nimmt Betrieb auf" vom 18.06.2015: https://www.dvb.de/de-de/meta/presse/pressemitteilungen/2015/06/18/ebus/ (01.04.2017)



Zu Wartezeiten, wie etwa vor einer roten Ampel oder an Haltestellen, wird der Energieverbrauch minimiert. Lediglich "Komfortverbraucher", wie Klimatisierung und Beleuchtung werden dann von der Batterie gespeist. Der elektrische Stadtbus trägt somit unmittelbar zur Steigerung der Lebensqualität in Städten bei. Die Batterieforschung und die Ermittlung einer optimalen Betriebsstrategie sind Entwicklungsschwerpunkte, um immer höhere Reichweiten realisieren zu können. Als Herausforderung hat sich die Abschätzung der Last durch Fahrgäste herausgestellt. Diese Größe schwankt je nach Fahrgastaufkommen erheblich.⁸ Für höchste Effizienz werden individuelle Kennlinien jeder Buslinie aufgenommen.

4 | Paketdienste unter Strom: Umrüstung leichter Nutzfahrzeuge

Auch für andere Teilnehmer am städtischen Straßenverkehr ergibt sich mit einem elektrischen Antrieb ein Anwendungsfall. Die mit heutiger Batterietechnik möglichen Reichweiten sind beispielsweise für Zustellungen von Paketdienstleistern über den ganzen Tag hinweg ausreichend. Über Nacht erfolgt eine batterieschonende Aufladung. Leichte Nutzfahrzeuge, die teilweise von Pkw-Modellen abgeleitet werden, sind vom Hersteller direkt ab Werk mit batterieelektrischen Antriebssträngen erhältlich, so z.B.⁹:

- Renault Kangoo Z.E. (Reichweite nach NEFZ 170 km)
- Nissan ENV 200 (Reichweite nach NEFZ 163 km)
- Mercedes-Benz Vito E-Cell (Reichweite nach NEFZ 130 km)
- Iveco Daily Electric (Reichweite nach NEFZ bis zu 280 km)¹⁰

⁸Vgl. Bogdan Ovidiu; Iclodean, Calin; Mariasiu, Florin (2016): Electric and Hybrid Buses for Urban Transport. Energy Efficiency Strategies. Cham, s.l.: Springer International Publishing (Green Energy and Technology).

⁹ Vgl. Karle, Anton (2015): Elektromobilität. Grundlagen und Praxis. 1. Aufl. München: Fachbuchverl. Leipzig im Hanser-Verl.

¹⁰ Vgl.: http://www.iveco.com/austria/collections/catalogues/Documents/der_neuer_daily_electric.pdf (02.04.2017)



Die Deutschen Post DHL Group übernahm als Anwender solcher Fahrzeuge im Jahr 2014 sogar ein



Abbildung 2: Der StreetScooter Work in den Farben der Deutschen Post DHL Group

komplettes Produktions- und Entwicklungsunternehmen für kleine, elektrifizierte Zustellfahrzeuge. Die **StreetScooter** GmbH entwickelte und produziert das Modell **Work** mit einer Reichweite von ca. 80 km.¹¹ Nachdem das Fahrzeug zunächst nur für den Eigenbedarf, der Brief- und Paketzustellung, gedacht war,

steht es nun für jeden Interessenten zum Kauf zur Verfügung. Der Markt zeigt allerdings eine Lücke, wenn es um schwerere Nutzfahrzeuge geht. Bereits in der sogenannten "Sprinter-Klasse" (= größere Transporter, 3,5 t Gesamtgewicht) gibt es kaum Angebote. Diese Not machte ein Bäcker aus Hilden zur Tugend und gründete eine Selbsthilfegruppe aus Angst vor der Sperrung von Innenstädten für dieselgetriebene Transporter.¹² Die aktuell 76 Teilnehmer (darunter Bäckereien, Elektrotechnik-Betriebe, die Stadtverwaltung Düsseldorf, Getränke-Logistiker, Paketdienste, u.v.m.) haben ein gemeinsames Fahrzeugkonzept mit einem Preislimit ausgearbeitet. Die Reichweite sollte demnach realistisch 100 bis 150 km betragen, wobei der Preis mit maximal 60.000,- € vorgegeben wird. Das Konzept soll an Fahrzeughersteller und Umrüstbetriebe als Ausschreibung verteilt werden. Außerdem liegen bereits 177 Interessensbekundungen zum Kauf eines solchen Fahrzeuges vor.

In anderen Projekten erproben **Paketdienstleister** elektrisch angetriebene Verteilerfahrzeuge mit bis zu 7,5 t zulässigen Gesamtgewicht.¹³ Die grundsätzlich mit konventionellem Antrieb angeschafften Fahrzeuge werden für den lokal emissionsfreien Betrieb von mittelständischen Unternehmen¹⁴ umgerüstet. Testphasen haben die Alltagstauglichkeit solcher Fahrzeuge bestätigt.

1

¹¹Vgl.:http://www.streetscooter.eu/modelle/work (30.03.2017)

¹²Vgl.:http://www.ihr-bäcker-schüren.de/E-Transporter-Selbsthilfegruppe.htm (18.03.2017)

¹³ Vgl. https://www.welt.de/wirtschaft/article116736439/Dieser-Elektro-Laster-ist-wirklich-alltagstauglich.html (06.03.2017)

¹⁴ z.B. Firma ElektroFahrzeuge-Stuttgart: http://www.efa-s.de/home.html



5 | Verteilerverkehr I: Revolution in der Werkslogistik

Eine weitere Zielgruppe ist die **Werkslogistik**, die auf kurzen Umläufen die Produktion in Fabriken absichert. Damit wird ein sinnvolles Batteriemanagement rein elektrischer Antriebe möglich. Beispielsweise werden in Automobilproduktionswerken die Zuliefererteile per Lkw in die Montage geliefert.¹⁵ Torsten Colditz, technischer Leiter bei Schnellecke Logistics am Standort Zwickau, erhofft sich für die Logistik am Volkswagen Produktionsstandort Zwickau, schon bald ein Geschäftsmodell im Betrieb elektrifizierter Nutzfahrzeuge zu finden. Es könne schließlich in Zukunft nicht akzeptiert werden, wenn Fabriken für elektrisch angetriebene Fahrzeuge mit Diesel-Lkw beliefert werden.

Da in überdachten Hallen ausgeladen wird, kommt zu den kurzen Fahrstrecken zusätzlich die Abgasproblematik hinzu. Für diese Aufgabe eignet sich ein elektrifizierter Antriebsstrang, der vollständig ohne lokale Emissionen unterwegs ist, hervorragend. Der TERBERG YT202-EV¹⁶ hat seine Stärken in der Praxis bereits unter Beweis gestellt. Bei dem Fahrzeug handelt es sich um eine Sattelzugmaschine für den Einsatz in Container-Verteilungsdepots, Hafenanlagen und Logistikzentren. Dabei kommt es in abgegrenzten Bereichen auf ein schnelles Auf- und Absatteln sowie gute Rangierbarkeit an. Der vollständig elektrifizierte Antriebsstrang sorgt für ein wartungsarmes, zuverlässiges Arbeitsgerät. Das Fahrzeug ist auf eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h ausgelegt, was für die beschriebenen Einsatzgebiete ausreicht. Ein Einsatz auf Schnellstraßen oder gar Autobahnen verbietet sich allerdings.

Ein Projekt mit elektrifizierten Zugmaschinen findet in Westdeutschland im kombinierten Verkehr statt. Mehrere Container-Logistiker schließen sich zusammen, insgesamt neun elektrische Lkw zu betreiben.¹⁷ Das Projekt steht ganz am Anfang – mit einem einsatzbereiten Fahrzeug wird nicht vor Ende 2017 gerechnet.

Ein anderer Vorschlag für alternative Antriebe kommt vom schwedischen Nutzfahrzeughersteller Scania. Dieser stellte bereits auf der Internationalen Automobilausstellung (IAA) für Nutzfahrzeuge im Jahr 2010 einen Erdgasmotor vor. Mittlerweile befinden sich die Fahrzeuge im Praxiseinsatz. Größte Hürde auf dem Weg zu einer sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich sinnvollen Anwendung sind die hohen Anschaffungskosten. Diese können auch durch Verzicht auf bei Kurzstreckeneinsätzen überflüssige Sonderausstattung nicht ausgeglichen werden. Daher blieb der große Durchbruch des

¹⁵ Vgl. http://www.eurotransport.de/news/e-und-cng-zugmaschine-im-praxiseinsatz-gute-luft-in-der-produktion-8603795.html (07.03.2017); Artikel veröffentlicht in der Branchenzeitschrift *TransAktuell*, Ausgabe 19 vom 23.09.2016, Seite 27

¹⁶Vgl: http://www.terbergspezialfahrzeuge.de/de/products/tractors/yard-tractors/yt202-ev/ (07.03.2017)

¹⁷ Vgl.: http://www.eurotransport.de/news/deutsch-niederlaendisches-projekt-fuenf-logistiker-erwerbenneun-schwere-e-lkw-8818575.html (15.03.2017)



Erdgasmotors im Nutzfahrzeug bislang aus. Dennoch zeigte auch **IVECO** in jüngster Vergangenheit Aktivitäten auf diesem Gebiet.¹⁸

6 | Verteilerverkehr II: Lebensmittellogistik in Berlin fährt elektrisch

In der **Lebensmittellogistik** werden im urbanen Verteilerverkehr vergleichbare Anforderungen (kurze Umläufe, keine Emissionen) gestellt. Die Firma Meyer Logistik¹⁹ setzt bereits seit 2014 einen elektrisch angetriebenen Lkw mit Kühlkofferaufbau und 18 t zulässigem Gesamtgewicht zur Auslieferung von gekühlten Lebensmitteln im Großraum Berlin ein.²⁰ Die gewonnenen Erkenntnisse sind durchweg positiv. Es wurden keine größeren Ausfallzeiten oder Wartungsaufwände verzeichnet. Der Energieverbrauch fällt günstiger aus als erwartet. Die Fahrzeuge legen bis zu dreimal täglich Auslieferungstouren von 80 bis 120 km pro Tour zurück.



Abbildung 3: Der EFORCE fällt durch seine grüne Farbgebung auf

¹⁸ Zum Weiterlesen: http://www.iveco.com/Germany/Neufahrzeuge/Pages/gas-engine-stralis-np-truck.aspx

¹⁹ Zum Weiterlesen: http://www.meyer-logistik.com/nachhaltigkeit/verantwortung/#p79

²⁰ Vgl.: http://www.verkehrsrundschau.de/elektro-lkw-meyer-logistik-zieht-bilanz-1709991.html (08.03.2017)



7 | Was kann der Nutzfahrzeug-Markt aktuell bieten?

Die führenden Hersteller von Nutzfahrzeugen bieten bisher noch keine rein elektrischen Antriebe. Aufgrund der zahlreichen Ideen zur Anwendung, die teilweise von Speditionen selbst ausgehen, hat sich bereits ein kleiner Markt für die Umrüstung von konventionellen Lastkraftwagen auf batterieelektrischen Antrieb (engl. BEV = battery electric vehicel) entwickelt.

Bei dem Lkw, den Meyer Logistik in Berlin einsetzt, handelt es sich um eine Umrüstung der Firma **eForce**²¹, die die maximale Reichweite mit bis zu 300 km angibt. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 87 km/h. Das Schweizer Unternehmen ist bereits seit mehreren Jahren aktiv. Bei dem umzurüstenden Grundfahrzeug liegt die Spezialisierung auf IVECO-Fahrgestellen. Die Akkus können innerhalb von sechs bis acht Stunden aufgeladen oder innerhalb von nur fünf Minuten ausgetauscht werden.²² Die Befestigung seitlich am Fahrzeugrahmen sorgt für eine gute Zugänglichkeit, birgt jedoch auch Gefahrenpotential bei Unfällen im Seitenbereich.

Die FRAMO GmbH²³ im sächsischen Langenbernsdorf ist ebenfalls Experte für Umrüstungen konventionell angetriebener Nutzfahrzeuge. In Abstimmung mit dem Kunden können für den jeweiligen Anwendungsfall maßgeschneiderte Antriebskonzepte angeboten werden. Die Basis bilden Fahrzeuge von MAN, die in der firmeneigenen Werkstatt einen batterieelektrischen Antrieb erhalten. Auch spezielle Lösungen, wie z.B. ein elektrifiziertes Nebenaggregat-Modul, sind realisierbar.

Prof. Dr.-Ing. Martin Wittmer ist Inhaber der Professur Nutzfahrzeugkonstruktion an der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Dresden. Er lobt in einem Expertengespräch die jüngsten Entwicklungen. Da es sich bei den Umrüstungen um Anpassungen vorhandener Fahrzeugkonstruktionen handelt, ergeben sich aber auch Nachteile. Die Anordnung von schweren Batterien an freien Stellen am Fahrzeugrahmen kann zu einer hinderlichen Verschiebung der Achslastverteilung führen.

"In ungünstigen Fällen kann sich ein praktisch nicht umsetzbarer Nutzlastschwerpunkt ergeben, was einer Reduzierung der Nutzlast gleich kommt",

erklärt Prof. Wittmer. Aus diesem Grund ist für eine nachhaltige Zukunftsausrichtung die grundhafte Entwicklung von elektrifizierten Nutzfahrzeugen unabdingbar. Die Umrüstung kann nur einen Zwischenschritt darstellen. Der Zulieferer **MAGNA** präsentierte auf der IAA 2016 beispielsweise seinen Leichtbaurahmen V4.0 für Nutzfahrzeuge, der bis zu 35 % leichter als ein konventioneller

-

²¹ Zum Weiterlesen: http://eforce.ch/

²² Vgl. Karle, Anton (2015): Elektromobilität. Grundlagen und Praxis. 1. Aufl. München: Fachbuchverl. Leipzig im Hanser-Verl.

²³ Zum Weiterlesen: http://www.framo-et.com/de/



Rahmen ist. So wird das Mehrgewicht durch die Batterien ausgeglichen. Es handelt sich um eine komplette Neuentwicklung, die eine sicherere Positionierung der Batterien im Rahmen ermöglicht.²⁴

8 | Die Aktivitäten der OEM

Erster Anbieter von elektrifizierten Antriebssträngen im Serien-Nutzfahrzeug war die Daimler AG, welche ab 2010 den damals aktuellen **Mercedes-Benz Atego mit Hybrid-Antrieb** in einer Ausführung mit 12 t zulässigem Gesamtgewicht und Pritschen- oder Kofferaufbau anbot.²⁵ Neben dem sehr hohen Anschaffungspreis bestand ein technischer Nachteil darin, dass der Verbrennungsmotor im Hybridbetrieb nicht abgeschaltet werden konnte. Die Nebenaggregate für Lenkhilfe und Druckluft-Bremsanlage mussten weiter versorgt werden.

Eine aktuelle Entwicklung bei Daimler ist der auf der IAA 2016 vorgestellte Mercedes-Benz Urban eTruck. Es handelt sich dabei um ein Fahrzeug für den schweren Verteilerverkehr und einem zulässigen Gesamtgewicht von 26 t. Der Antriebsstrang ist rein elektrisch ausgelegt. Die nötige Energie wird in Batterien gespeichert. Die Reichweite beträgt bis zu 200 km. Radnabenmotoren aus der Stadtbusentwicklung sorgen für einen technisch ausgedünnten Antriebsstrang und somit mehr Freiraum für die Anordnung der Batterien, z. B. zwischen den Rahmenlängsträgern. Noch in diesem Jahr beginnt eine Erprobungsphase in Kleinserie. Dabei sollen wichtige Erkenntnisse für die Serienentwicklung gewonnen werden.

"Bislang war der Einsatz von Elektroantrieben im Lkw extrem limitiert. Mittlerweile entwickeln sich Kosten, Leistung und Ladedauer so rasant weiter, dass wir für den Verteilerverkehr jetzt eine Trendwende sehen: Die Zeit ist reif für den Elektro-Lkw. Bei leichten Verteiler-Lkw sind wir mit dem FusoCanter E-Cell bereits seit 2014 in intensiver Kundenerprobung. Mit dem Mercedes-Benz Urban eTruck elektrifizieren wir jetzt den schweren Verteilerverkehr bis 26 Tonnen. Wir wollen das elektrische Fahren so konsequent besetzen wie das autonome und vernetzte Fahren.",

erklärt Daimler Trucks und Buses Vorstand Dr. Wolfgang Bernhard.²⁶

Die Konzern-Schwestermarke **Fuso** stellte auf der IAA 2016 bereits den Nachfolger für den rein elektrischen Canter eCell vor, der nun **eCanter**²⁷ heißen wird. In beiden Fällen ist die Rede von einem

_

²⁴ Vgl.: http://www.magna.com/media/press-releases-news/releases-news/2016/09/19/news-release-magna-showcases-lightweight-innovation-at-iaa-commercial-vehicles-2016 (17.03.2017)

²⁵ Vgl.: http://www.spiegel.de/auto/aktuell/mercedes-atego-hybrid-absurd-teure-imagepflege-a-735756.html (09.03.2017)

²⁶ Vgl. Daimler Pressemitteilung vom 27. Juli 2016



leichten Lkw mit 7,49 t Gesamtgewicht für den städtischen Verteilerverkehr. Seit 2016 wird der CantereCell bei ausgewählten Kunden getestet. Ziel ist eine schnellst mögliche Markteinführung des eCanter.

Um den Anschluss an die aktuellen Entwicklungen der Konkurrenz nicht zu verlieren, kündigte MAN kürzlich eine Offensive in Sachen elektrisch angetriebener Lkw an.²⁸ Mehrere elektrifizierte Sattelzugmaschinen sollen im Jahr 2017 bei ausgewählten Kunden in den Testbetrieb gehen. Seitens MAN wird betont, dass es sich nicht um eine Studie für die Mobilität in der Zukunft handelt, sondern um marktreife, einsatzbereite Technik, die für Reichweiten bis 150 km geeignet ist. Bereits im Jahr 2012 begann Renault mit dem Praxiseinsatz eines elektrifizierten 16-Tonners. Es handelte sich zu diesem Zeitpunkt um das schwerste rein elektrisch fahrende Nutzfahrzeug. Das Fahrzeug vom Typ Midlum 16 T wurde über 18 Monate lang unter



Abbildung 4: Mercedes-Benz Urban eTruck



Abbildung 5: Die elektrifizierte MAN-Sattelzugmaschine

realistischen Bedingungen bei einem Logistikunternehmen im Verteilerverkehr für Frisch- und Tiefkühlwaren getestet. Das Ergebnis fällt durchweg positiv aus: Renault beziffert die CO₂-Einsparung gegenüber einem herkömmlichen Fahrzeug mit bis zu 86 %. Das Potential der Rekuperation, d.h. der Energierückgewinnung beim Bremsen, wurde ebenfalls deutlich.

"In den Verzögerungsphasen wird der Elektromotor zum Generator, der die Batterien lädt und so rund 25 Prozent der vom Fahrzeug genutzten Energie erzeugt",

erklärt der Projektleiter bei Renault Trucks, Christophe Vacquier.²⁹

²⁷ Vgl.: https://www.ecanter.com/ (09.03.2017)

²⁸ Vgl.: http://www.nachrichten.at/oberoesterreich/steyr/MAN-bereitet-in-Steyr-Fertigung-fuer-Elektro-Lkws-vor;art68,2485102 (10.03.2017)

²⁹ Vgl. Pressemitteilung Renault Trucks "Feldtest mit elektrisch angetriebenem Renault Midlum 16 T abgeschlossen: [...]" vom März 2014: https://www.pressebox.de/pressemitteilung/renault-trucks-deutschlandgmbh/Feldtest-mit-elektrisch-angetriebenem-Renault-Midlum-16-T-abgeschlossen-Renault-Trucks-Stef-und-Carrefour-ziehen-positive-Bilanz/boxid/669985 (01.04.2017)



9 | Eine Lösung für den Langstreckenverkehr

Volvo testet Medienberichten zufolge einen Fernverkehrs-Lkw mit Hybrid-Antrieb.³⁰ Nach deren Angaben soll der Verbrennungsmotor für bis 30 % der Fahrzeit abgestellt werden können.³¹ Vielversprechend ist demnach das Einsparpotential, das mit einem Concept Truck validiert wird.

Ein rein elektrischer Antriebsstrang hingegen profitiert von einem ständig günstigen Wirkungsgrad und keinen lokalen Emissionen. Ein Projekt bei Siemens möchte diese Vorteile auf den Langstreckenverkehr der Autobahnen übertragen.



Abbildung 6: Ein Siemens-Versuchsfahrzeug in Schweden

Bisherige Konzepte mit batterieelektrischem Antrieb erlauben keine Reichweiten, die einer möglichen Tagesetappe im Fernverkehr nahekommen. Lastkraftwagen erhalten stattdessen einen Hybridantrieb, der im Vergleich zu der von Volvo vorgestellten Version nochmals erweitert wird. Mittels eines Stromabnehmers auf dem Dach beziehen die Fahrzeuge Energie aus einer Oberlei-

tung auf der Autobahn. Die Energie treibt einen Elektromotor an und kann zusätzlich in Batterien gespeichert werden. Diese steht für die Fahrt auf nicht durch Oberleitung erschlossenen Strecken zur Verfügung. Sind die Batterien leer, kommt der konventionelle Verbrennungsmotor zum Einsatz. Das Prinzip wurde bereits auf nicht öffentlichen Strecken getestet. Siemens verspricht einen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 80 %.³² Im Vergleich zum konventionellen Antrieb entspricht das mindestens einer Verdopplung. Größtes Problem sind allerdings die Kosten. Neben dem zusätzlichen Aufwand für die Hybridtechnik im Lkw stehen Ausgaben in Höhe von zwei Millionen Euro pro elektrifiziertem Autobahnkilometer zu buche.³³ Das Bundesumweltministerium fördert das Projekt und möchte weitere Versuche auf ausgesuchten Autobahnabschnitten in Deutschland anstellen.³⁴

³⁰ Vgl.:https://www.electrive.net/2017/02/28/volvo-testet-hybrid-lkw-fuer-den-fernverkehr/ (19.03.2017)

³¹ Vgl.:http://www.volvotrucks.de/de-de/news/press-release.html?pubid=21680 (19.03.2017)

³²Vgl.: http://www.siemens.com/press/de/feature/2015/mobility/2015-06-ehighway.php (14.03.2017)

³³Vgl.: http://www.sueddeutsche.de/auto/elektromobilitaet-der-lkw-der-zukunft-haengt-an-der-leine-1.3361324 (14.03.2017)

³⁴Vgl.: http://www.bmub.bund.de/pressemitteilung/freie-fahrt-fuer-oberleitungs-lkw-in-schleswig-holstein/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=2568 (14.03.2017), Pressemitteilung Nr. 046/17 des BMUB



10 | Off-Highway Fahrzeuge

Die bisher vorgestellten Lösungen betrafen Nutzfahrzeuge für den Betrieb auf öffentlichen Straßen. Potential steckt auch in Fahrzeugen, die in räumlich begrenzten Arealen unterwegs sind, wie z.B. auf Flughäfen, Industrieanlagen oder Bergbaugebieten. Der Vorteil liegt auf der Hand: aufgrund des engen Einsatzradius ist eine zentrale Ladestation für das Fahrzeug ausreichend. Es muss keine Ladeinfrastruktur geschaffen werden. Im Bereich der Logistikfahrzeuge, wie z.B. Gabelstapler und Zugmaschinen, hat sich der Elektroantrieb längst durchgesetzt. Speziell bei Gabelstaplern wird das sonst nachteilige, hohe Gewicht der Batterie als Ballast verwendet, um die Standsicherheit der Maschine bei aufgenommener Last zu gewährleisten.

Die deutsche Firma Cobus Industries GmbH ist führender Hersteller von Flughafenbussen. Diese sind üblicherweise drei Meter breit und heben sich von Fahrzeugen für den öffentlichen Straßenverkehr (max. 2,50 m Breite) ab. Auf dem Flughafen Stuttgart ist das Modell **e.COBUS 3000** im Einsatz. Das Fahrzeug kann nachts und während Ruhepausen aufgeladen werden und ermöglicht so den dauerhaften Einsatz am Flughafen. Bei der Präsentation des neuen Fahrzeugs im Januar 2016 erklärte der Chef des Stuttgarter Flughafens, Prof. Georg Fundel:

"Elektroantriebe eignen sich hervorragend für die Flugzeugabfertigung, weil die Länge der Fahrstrecken überschaubar ist. Nachdem wir intensiv getestet haben, machen wir jetzt Ernst. Wo immer Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Betriebssicherheit ineinandergreifen, setzen wir künftig auf Elektromobilität."³⁵



Abbildung 7: An der Steckdose tanken - knickgelenkter Radlader Wacker Neuson WL20e

Ein Beispiel aus der Baumaschinen-Industrie ist der elektrisch betriebene **Radlader WL20e** von Wacker Neuson. Die kleine und wendige Arbeitsmaschine mit Knicklenkung eignet sich hervorragend für Landschaftsgärtner und Baustellen im Innenstadtbereich. Keinerlei Abgase und deutlich reduzierte Lärmemission leisten einen Beitrag für Umweltschutz und sorgen

für eine Reduzierung der Betriebskosten.³⁶

 $^{^{35}} Vgl.: http://www.cobus-industries.de/media/flughafen_stuttgart_wird_fairport_str.pdf \ (02.04.2017)$

³⁶ Vgl.: http://www.wackerneuson.de/de/produkte/radlader/knickgelenkte-radlader/model/wl20e/type/TechnicalData/ (02.04.2017)



11 | Umdenken: neue Wege gehen

Der Umweltschutz spricht sich seit einiger Zeit für eine Abkehr vom Gütertransport auf der Straße aus. Das stark wachsende Segment des Güterverkehrs sorgt für eine hohe Umweltbelastung. Der Ansatz ist die Verlagerung von Straße und Luftraum auf umweltfreundlichere Verkehrssysteme, wie z.B. Schienen- und Schiffsverkehr.³⁷

Als Beispiel für eine sichtbare Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene kann die Cargotram in Dresden aufgeführt werden. Es handelt sich dabei um eine Straßenbahn zur Güterbeförderung für die Produktion in der Gläsernen Manufaktur von Volkswagen im Zentrum der sächsischen Landeshauptstadt. Auf diese Weise können mit einer Bahn bis zu drei Lkw ersetzt werden.³⁸ Dennoch ist eine neue Eisenbahnstrecke technisch sehr aufwendig zu installieren und zu unterhalten. Der Straßengüterverkehr baut auf einem öffentlichen Wegenetz auf und kann individuell gestaltet werden. Die Eisenbahn ist im Vergleich zu langsam und unflexibel.³⁹ Zwar können im Straßenverkehr durch Unfälle und Baustellen ungeplant Verzögerungen entstehen, jedoch fällt die Wahl von Alternativrouten wesentlich einfacher. Der Fahrer kann eigenmächtig Entscheidungen treffen und die optimale Route wählen. Der Lkw-Verkehr nimmt im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern die größte Rolle ein und ist im Nahverkehr heute nicht wirtschaftlich zu ersetzen.⁴⁰

³⁷ Vgl.: http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/gueterverkehr (14.03.2017)

³⁸ Vgl.: https://de.wikipedia.org/wiki/CarGoTram (Dresden) (14.03.2017)

³⁹ Vgl.: Vahrenkamp, Richard; Kotzab, Herbert; Siepermann, Christoph (2012): Logistik. Management und Strategien. 7., überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg (Management 10-2012); S. 317

⁴⁰ Vgl.: ebenda; S. 254



12 | Zusammenfassung aktueller Stand

Die Entwicklung elektrischer Antriebe für Nutzfahrzeuge ist längst keine Zukunftsmusik mehr. Neben zahlreichen neu gegründeten Unternehmen zur Umrüstung bestehender Fahrzeuge sind alle namenhaften Hersteller in der Entwicklung reinelektrischer Antriebsstränge aktiv. Bisher galt dabei die Batterieentwicklung als Flaschenhals. Jüngste Fortschritte ermöglichen allerdings ausreichende Energiedichten, um akzeptable Reichweiten auch für schwere Nutzfahrzeuge zu realisieren. Der Verteilerverkehr wird elektrisch. Eine vorausschauende Fahrweise und sinnvolle Bremsenergierückgewinnung verlängern die Reichweite zusätzlich. Das hohe Drehmoment der Elektromotoren aus dem Stand heraus sorgt für eine zügigere Beschleunigung als bei herkömmlichen Fahrzeugen. Für einen sinnvollen Einsatz sind aus heutiger Sicht folgende grobe Rahmenbedingungen zu erfüllen:

- Kurze Distanzen (max. 100 km) zwischen zwei Wegpunkten
- Ladestationen an den Wegpunkten
- Zeitreserve im Tourenplan zum Nachladen der Akkus

Idealerweise ist eine komplette Liefertour nicht länger als 100 km, sodass nur in eine Ladestation investiert werden muss und zeitaufwendiges Nachladen bei Zwischenstopps entfällt – falls nicht sowieso ein Aufenthalt für Be- und Entladevorgänge oder die obligatorische Pause der Lenkzeit nötig ist. In manchen Anwendungsfällen reicht das Laden über Nacht für eine komplette Tagesschicht aus. Natürlich kommt es hier immer auf die individuellen Anwendungsfälle an.

Der Markt bietet aktuell bereits Fahrzeuge bis 7,49 t zulässigen Gesamtgewichts in ausgereifter (Groß-) Serientechnik. Alle Testkunden bescheinigen dem Elektroantrieb großes Potential. Die geringere Reichweite muss lediglich in der Tourenplanung Berücksichtigung finden. Schwerere Fahrzeuge bis hin zum Sattelzug mit 40 t Zuggesamtgewicht sind in Vorbereitung oder werden bereits erprobt. Selbst für die Langstreckenfahrzeuge, bei denen der Dieselmotor bisher immer als alternativlos galt, gibt es Ansätze zur Elektrifizierung mittels Oberleitung. Der ökologische Gesamtnutzen ist jedoch zweifelhaft. Ein weiterer Vorteil der Elektromobilität scheint sich zusätzlich zu bewahrheiten: der elektrifizierte Antriebsstrang ist wesentlich wartungsarmer und daher günstiger im Unterhalt.

Dennoch bleiben Probleme, die für den Marktdurchbruch der Elektromobilität bei (schweren) Nutzfahrzeugen gelöst werden müssen. So fehlt zum einen eine flächendeckende Ladeinfrastruktur. Soll
heute ein batterieelektrisches Fahrzeug unterhalten werden, muss der Betreiber selbst in die notwendige Ladetechnik investieren. Die Kosten für eine leistungsfähige Schnellladestation liegen im
sechsstelligen Bereich und müssen durch die geringen Unterhaltskosten des Elektrofahrzeugs wieder
eingefahren werden. Das lokale Stromnetz muss außerdem für diese Anwendung geeignet sein. Die
großen Investitionskosten der Ladestationen amortisieren sich in keinem realistischen Zeitraum.



Auch aufgrund der langen Verweildauer an der Stromtankstelle ergibt sich kein Geschäftsmodell. Hier gilt es, die grundsätzliche Strategie festzulegen: Akkus in wenigen Minuten tauschen oder in einigen Stunden aufladen? Beim dem Lösungsansatz mittels Oberleitung stehen enorme Kosten für die Ausrüstung der Autobahnen im Raum. Der Straßengüterverkehr muss sich auch deshalb auf den Nahverkehr beschränken.

Zum anderen sind die Investitionskosten für ein Fahrzeug mit elektrischem Antrieb für den wirtschaftlichen Einsatz noch immer zu hoch. Unternehmer sind von der Anschaffung solcher Fahrzeuge nicht vollends zu überzeugen, obwohl die Medien in jüngster Vergangenheit immer öfter von drohenden Fahrverboten für Diesel-Fahrzeuge in Innenstädten berichten. Die geringeren Betriebskosten könnten zudem eine Amortisation begünstigen. Diese Frage muss jedoch im Detail beleuchtet werden.



13 | Übersicht zu elektrischen Nutzfahrzeugen (Auswahl)

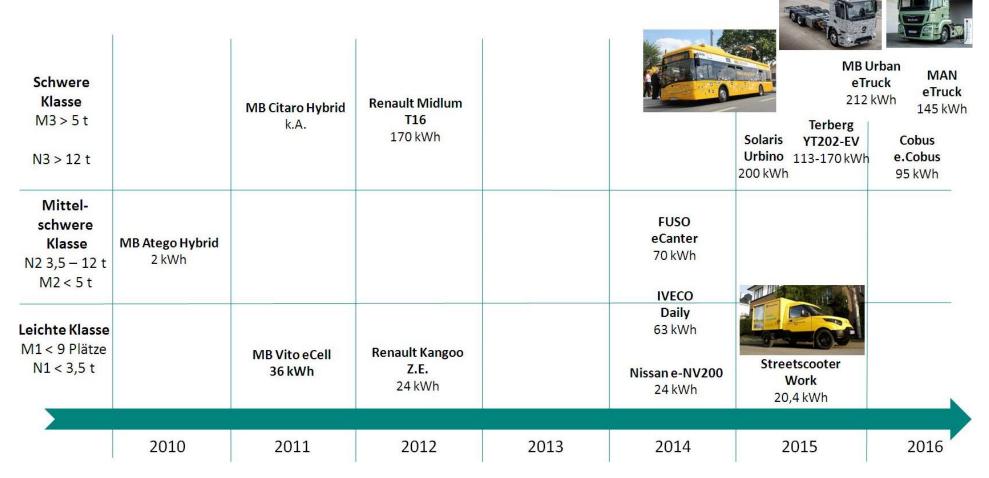


Abbildung 8: Entwicklung in den Fahrzeugklassen seit 2010 (mit Angabe der Batteriekapazität)



Klasse	Hersteller/ Marke	Тур	Zul. GG [kg]	Antrieb	Batterie- kapazität [kWh]	Leistung [kW]	elektrische Reichweite [km]	v _{max} [km/h]
M3	EvoBus GmbH Mercedes-Benz	Citaro G BlueTec Hybrid	28.000	Serieller Hybrid- antrieb	k.A.	4x 80	< 10 km	80
M3	Solaris	Urbino 12 Electric	19.000	elektrisch	5x 40	2x 80	bis 150*	65
N1 / N2	IVECO	DAILY Electric	3.500 bis 5.600	elektrisch	3x 21,2	60 bis 80*	bis 280*	80
N1	Renault	Kangoo Z.E.	2.126	elektrisch	24	44	bis 170	130
N1	Nissan	e-NV200	ca. 2.200	elektrisch	24	80	bis 170	123
N1	Damiler AG / Mer- cedes-Benz	Vito eCell	3.050	elektrisch	36	70	130	89
N1	Streetscooter	Work	2.080	elektrisch	20,4	48	80	120
N3	Terberg	YT202-EV	18.000	elektrisch	113 bis 170 *	138	ca. 7 h	40
N3	eForce	One	18.000	elektrisch	2x 120	2x 93	bis 300	87
N3	Framo	*	7.490 bis 26.000*	elektrisch	57 bis 318*	80 bis 420*	250*	k. A. (80)
N2	Damiler AG / Mer- cedes-Benz	AtegoBluetec Hybrid	12.000	P2-Hybrid- Antrieb	2	160 abzgl. 44	%	90
N3	Damiler AG / Mercedes-Benz	Urban eTruck	26.000	elektrisch	212	2x 125	bis 200	k.A. (80)
N2	Daimler AG / FUSO	eCanter	7.490	elektrisch	5x 14	185	> 100	k.A. (80)
N3	MAN	eTruck(TGS Sattel- zugmaschine)	18.000	elektrisch	3x 35,3	250	50 - 150	k.A. (80)
N3	Renault	Midlum 16 T Elektroan- trieb	16.000	elektrisch	170	103	120	k.A. (80)
M3	Cobus	E.Cobus 3000	20.400	elektrisch	95	160	85	40
k.A.	Wacker Neuson	WL20e	2.350	elektrisch	11,5 bis 14*	6,5****	2,8 - 4,5 h	15

Abbildung 9: Tabelle

^{*} unterschiedliche Konfigurationen möglich

^{***} Vorgängermodell CantereCell

^{**} Angebot mangels Nachfrage eingestellt

^{****} Fahrmotor (Hubmotor: 9 kW).

Kontakt

AMZ Automobilzulieferer Sachsen

Freiberger Straße 35

01067 Dresden

Tel.: 0351 8322-374

Mail: info@amz-sachsen.de

Internet: www.amz-sachsen.de





Andreas Wächtler

Projektleiter e-JIT I Netzwerkmanager AMZ Sachsen

Tel.: 0351 8322-367

Mail: waechtler@amz-sachsen.de