

MEHR BEWEGEN.

MIT STROM.

Unsere e-Mission für Bonn.

Stadtwerke Bonn

302



BN SW 871

Elektrobusse in NRW

Marktübersicht und -entwicklungen

IMPRESSUM

Herausgeber:

ElektroMobilität NRW
EnergieAgentur.NRW GmbH
Roßstraße 92 | 40476 Düsseldorf
Mail: hotline@energieagentur.nrw
Telefon: 0211/837-1930

EnergieAgentur.NRW 



Text und Redaktion:

Kompetenzzentrum ElektroMobilität NRW GbR

Gestaltung:

Forschungszentrum Jülich GmbH

Druck:

Druckerei Hans Hitzegrad GmbH & Co. KG

Bildnachweise:

Titel, S.12 mitte: SWB Bus und Bahn
S. 5 Grafiken: [kupchynskiy12/fotolia.com](https://www.kupchynskiy12/fotolia.com)
S.5: Van Hool NV
S. 12 oben, S.23, S.25: Kölner Verkehrsbetriebe AG
S.12 unten: Stadtwerke Münster
S.14: Siemens AG
S.15 oben: Volvo Busse Deutschland GmbH
S.15, S.17 rechts: Bombardier Primove GmbH
S.16, S.17 links, S.20: Kompetenzzentrum ElektroMobilität NRW GbR
S.18, S.19: ZF Friedrichshafen AG
S.21 unten: Schaeffler Automotive
S.26: Kompetenzzentrum ElektroMobilität NRW GbR
Statistiken: Kompetenzzentrum ElektroMobilität NRW GbR nach
Daten des Kraftfahrt-Bundesamt 2017

Stand:

März 2018/EA525



E-Mail: nrwdirekt@nrw.de

Telefon: 0211/837-1001

www.elektromobilitaet.nrw.de

INHALT

<i>Elektromobilität im öffentlichen Personennahverkehr</i>	4
<i>Übersicht Fahrzeugklassen und -varianten</i>	5
<i>Bestand an Kraftomnibussen in NRW und Deutschland</i>	6
<i>Neuzulassungen an Kraftomnibussen NRW und Deutschland</i>	8
<i>Marktentwicklung alternativer Antriebe</i>	9
<i>Regionale Erfahrungen</i>	10
<i>Detaillierte Beschreibung der Busse in exemplarisch ausgewählten Städten</i>	12
<i>Stand der Technik</i>	14
<i>Ladekonzepte</i>	15
<i>Energiespeicher</i>	16
<i>Antriebskonzepte</i>	18
<i>Motorisierung</i>	20
<i>Aktuelle Marktbetrachtung</i>	22
<i>Ausblick</i>	24
<i>NRW ist Elektromobilitätsland</i>	26

Elektrobusse sind ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Mobilität in urbanen Ballungsräumen

Der Megatrend Urbanisierung ist weiterhin ungebrochen. Urbane Regionen müssen zukünftig vernetzter und umweltfreundlicher gestaltet sein, so dass die Lebensqualität in den Städten trotz der Zunahme der Bevölkerungsdichte gesteigert werden kann.

Mit der Erhöhung der Bevölkerungszahlen in Großstädten wird auch der Straßenpersonenverkehr mit Bussen weiter ansteigen, da Stadtbusse häufig die einzige Form des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) darstellen. In Deutschland entfallen ca. 80 Mrd. Personenkilometer auf den ÖPNV (inkl. Straßenbahnen und Stadtbahnen). Nahezu die Hälfte dieser Personenbeförderungsleistung wird mit Stadt-

bussen realisiert, die somit in urbanen Ballungsräumen einen großen Anteil am ÖPNV abdecken. Stadtbusse tragen so zur Luftverschmutzung sowie Lärmbelästigung bei und verursachen im Betrieb hohe Kraftstoffkosten.

Insbesondere die Verkehrsbetriebe haben derzeit ein großes Interesse daran, Elektrobusse in ihre Flotten zu integrieren. Sie emittieren lokal weder Lärm noch Abgase und sind somit ein wichtiger Baustein, um in Großstädten die Luftqualität zu steigern und die Lärmbelästigung zu reduzieren. Deshalb gibt es in einigen nordrhein-westfälischen Städten derzeit bereits Elektrobusse im Test- bzw. Linienbetrieb.




ÜBERSICHT FAHRZEUGKLASSEN UND -VARIANTEN

In der Fahrzeugklasse der Kraftomnibusse gibt es unterschiedliche Typen in verschiedenen Varianten.

Kraftomnibusse sind nach StVZO Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen – außer dem Fahrersitz. Des Weiteren müssen Kraftomnibusse mit Stehplätzen, die die Beförderung von Fahrgästen auf Strecken mit zahlreichen Haltestellen ermöglichen und über mehr als 22 Fahrgastplätze verfügen, zusätzlich den Vorschriften über technische Einrichtungen für die Beförderung von Personen mit eingeschränkter Mobilität entsprechen. Nach geltender europäischer Definition werden Kraftomnibusse der Fahrzeugklasse M2 und einem zulässigen Gesamtgewicht bis zu 5 Tonnen bzw. M3 und einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 5 Tonnen zugerechnet. In der Klasse M2 befinden

sich Kleinbusse, die überwiegend für touristische Fahrten und auf gering frequentierten Linien eingesetzt werden. Demgegenüber sind in der Klasse M3 Stadtbusse sowie Reise- und Überlandbusse zu finden. In der vorliegenden Veröffentlichung stehen die Stadtbusse im Fokus der Betrachtung, da hier das derzeit priorisierte Einsatzfeld für Elektrobusse liegt.

Stadtbusse mit konventionellem Dieselantrieb werden von nahezu allen bekannten Nutzfahrzeugherstellern angeboten – z. B. Daimler EvoBus, MAN oder Iveco. Hersteller von Elektrobusen, die in Testflotten bereits zum Einsatz kommen, sind hingegen oftmals auf die Entwicklung und Produktion von Bussen spezialisierte Unternehmen mit bisher geringem Marktanteil in Deutschland, z. B. BYD, Sileo GmbH oder Van Hool.

Fahrzeugklassen	Zul. Fzg. GG	Typisches Einsatzgebiet
M2 – Kleinbusse 	Bis unter 5,0 t	Touristische und Linienverkehre mit geringer Nachfrage
M3 – Stadtbusse 	Ab 5,0 t	Linienverkehr in Städten
M3 – Reise- und Überlandbusse 	Ab 5,0 t	Fernlinienbusverkehr, Verbindung urbaner Räume

Varianten M3 Stadtbusse	Kategorie	Eigenschaften
	Niederflurbus	Bis zu 12 m lang 21–40 Sitzplätze
	Gelenkbus	Ca. 18 m lang 45 Sitzplätze
	Doppelgelenkbus	Ca. 25 m lang 70 Sitzplätze

BESTAND AN KRAFTOMNIBUSSEN IN NRW UND DEUTSCHLAND

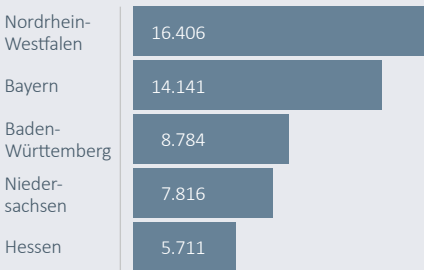
Bestand der Kraftomnibusse in Deutschland nach Sitzplätzen

Der Bestand an Kraftomnibussen lag in Deutschland im Jahr 2016 bei 78.883 Fahrzeugen. Dabei hat er in den letzten Jahren nur sehr moderat zugenommen und ist seit 2012 nur um insgesamt ca. 2.810 Fahrzeuge angestiegen. Die Bestandszahlen sind somit wesentlich kleiner als bei den übrigen Nutzfahrzeugen (Lkw in 2016: ca. 2,9 Mio. Fahrzeuge) bzw. im Segment der Personenkraftwagen (2016: ca. 46 Mio. Fahrzeuge).

Betrachtet man den Bestand an Kraftomnibussen nach Sitzplätzen, so besitzen Busvarianten mit einer Sitzplatzkapazität von 32–50 Sitzplätze den höchsten Anteil in der Bestandsstatistik in 2016 (ca. 54,5%). In diese Kategorie fallen ebenfalls die meisten Stadtbusse. Busse mit 50 und mehr Sitzplätzen folgen auf Rang 2 mit ca. 28,8%. Der Rest verteilt sich mit 16,7%-igen Anteil auf Busse mit bis zu 31 Sitzplätzen.

	76.023	76.794	77.501	78.345	78.833
51 und mehr Sitzplätze	23.818 (31,3%)	23.546 (30,7%)	23.431 (30,2%)	23.335 (29,8%)	22.715 (28,8%)
32 bis 50 Sitzplätze	39.953 (52,3%)	40.668 (53%)	41.323 (53,3%)	42.077 (53,7%)	42.928 (54,5%)
Bis 31 Sitzplätze	12.252 (16,1%)	12.580 (16,4%)	12.747 (16,4%)	12.933 (16,5%)	13.190 (16,7%)
	2012	2013	2014	2015	2016

Bestand an Kraftomnibussen nach Bundesländern im Vergleich in 2016*

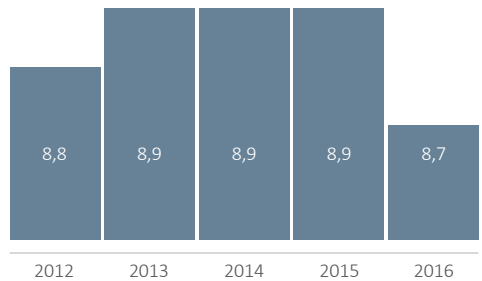


* Vergleich der Top 5 bestandsstärksten Bundesländer

In Nordrhein-Westfalen befanden sich 16.406 Fahrzeuge in 2016 im Bestand. Dies ist im Vergleich zu den übrigen Bundesländern der höchste Wert.

Auf Platz 2 rangiert Bayern mit 14.141 Fahrzeugen, gefolgt von Baden-Württemberg mit 8.784 Fahrzeugen. Diese Rangfolge korreliert mit der Platzierung dieser Bundesländer hinsichtlich der absoluten Einwohnerzahlen.

Durchschnittliches Alter der Kraftomnibusse in Deutschland in Jahren



Die Kraftomnibusse in Deutschland wiesen 2016 ein durchschnittliches Alter von 8,7 Jahren auf. Diese Zahl gilt es zu beachten, wenn die schrittweise Umstellung der betreffenden Flotte auf Elektrobuse in Verkehrsbetrieben geplant wird. Ein Ersatz der konventionell angetriebenen Flotte wird neben monetären Aspekten auch eine längere Zeitdauer in Anspruch nehmen.

Eng mit dem durchschnittlichen Alter der Fahrzeuge verbunden sind die Zulassungszahlen. Im Hinblick auf diese entwickelt sich der Markt für Kraftomnibusse in Deutschland mit ähnlich moderaten Wachstumsraten wie bei den Bestandszahlen.

In 2016 wurden in Deutschland 6.683 Fahrzeuge neu zugelassen. Im Vergleich zu den Neuzulassungen bei Nutzfahrzeugen (Lkw in 2016: ca. 295.760 Fahrzeuge) und Personenkraftwagen (2016: ca. 3,4 Mio. Fahrzeuge) ist dies ebenfalls ein eher geringer Wert. Dennoch ist die Zahl eine wichtige Kennziffer, da mit Bussen ein hoher Anteil des ÖPNV abgedeckt wird.

NEUZULASSUNGEN

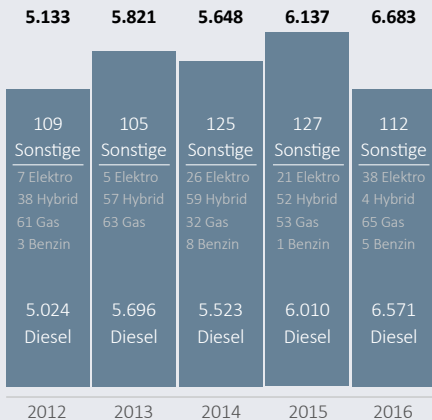
AN KRAFTFAHRTOMNIBUSSEN IN NRW UND DEUTSCHLAND

Im Jahr 2016 wurden in Nordrhein-Westfalen 967 Kraftomnibusse neu zugelassen: 954 dieselangetriebene Busse und 13 Elektrobusse.

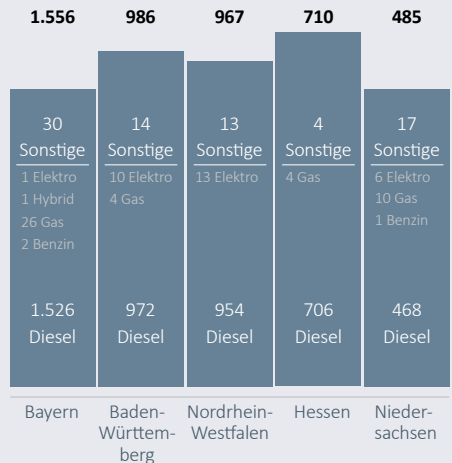
Im Vergleich mit den zulassungsstärksten Bundesländern liegt NRW insgesamt auf Rang 3. Bayern hat mit 1.556 und Baden-Württemberg mit 986 Neuzulassungen mehr Fahrzeuge zu verzeichnen. Allerdings liegt NRW mit 13 Elektrobusen im Vergleich zu Bayern (1 Elektrobus)

und Baden-Württemberg (10 Elektrobusse) mit Abstand in Führung. Dies unterstreicht das hohe Engagement nordrhein-westfälischer Verkehrsbetriebe, ihre Flotten umweltfreundlicher zu gestalten und somit die Luft- und Lebensqualität in Städten zu verbessern.

Neuzulassungen von Kraftomnibusen in Deutschland



Neuzulassungen von Kraftomnibusen nach Bundesländern im Vergleich in 2016*

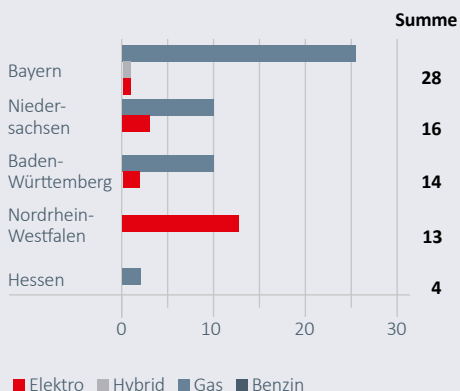


* Vergleich der Top 5 bestandsstärksten Bundesländer

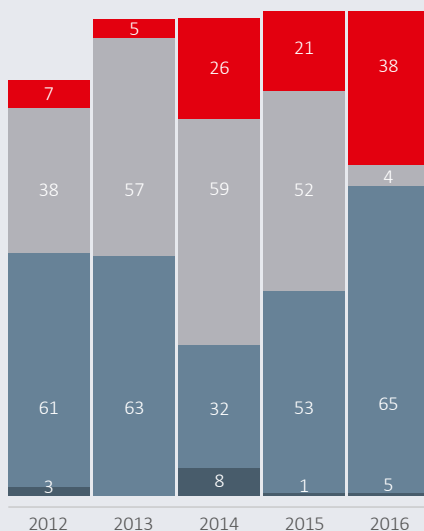
MARKTENTWICKLUNG ALTERNATIVER ANTRIEBE

Alternative Antriebe spielen in der Zulassungsstatistik derzeit lediglich eine untergeordnete Rolle. Im gesamten Jahr 2016 wurden nur 38 Elektro- und 4 Hybridbusse zugelassen. Dies entspricht einem Zulassungsanteil von knapp 0,6%.

Neuzulassungen der Kraftomnibusse in NRW mit alternativen Antrieben im Vergleich in 2016*



Neuzulassungen der Kraftomnibusse in Deutschland nach Kraftstoffart (ohne Diesel)



* Vergleich der Top 5 bestandsstärksten Bundesländer

REGIONALE ERFAHRUNGEN

Die zuvor dargestellten Statistiken hinsichtlich der Neuzulassungen von Elektrobussen in Deutschland sowie in den einzelnen Bundesländern verdeutlichen, dass dieser Fahrzeugtyp bereits im realen Betrieb eingesetzt wird.

In zahlreichen deutschen Städten setzen insbesondere die lokalen Verkehrsbetriebe auf rein batterieelektrisch angetriebene Stadtbusse, um erste Erfahrungen im Test- und Linienbetrieb zu sammeln und sukzessive ihre Flotten zu elektrifizieren.

In vielen Großstädten, z.B. München, Hamburg oder Dresden, werden von den Verkehrsbetrieben schon heute Elektrobusse eingesetzt. Teilweise werden die Busse in Feldversuchen erprobt, andererseits gibt es bereits Busse, die im sogenannten Alltagseinsatz auf bestimmten Linien eingesetzt werden.



In Nordrhein-Westfalen haben ebenfalls eine Vielzahl an Verkehrsbetrieben Elektrobusse in ihre Flotte integriert. Exemplarisch können hier die Städte Köln, Bonn und Münster aufgeführt werden.

Köln

Die Kölner Verkehrs-Betriebe (KVB) stellten die Bus-Linie 133 zum Fahrplanwechsel im Dezember 2016 auf den Betrieb mit vollelektrischen Gelenkbussen um. Die KVB ist das erste Unternehmen, das eine bestehende Linie komplett auf den Verkehr mit batteriebetriebenen Gelenkbussen umstellt.

Bonn

Anfang 2016 gingen zwei durch die EU geförderte Elektrobusse im Bonner Busliniennetz in den Testbetrieb. Es soll die Einsatztauglichkeit und Wirtschaftlichkeit von Elektrobusen im Vergleich zu Dieselbussen untersucht werden.

Münster

Seit 2015 werden fünf Elektrobusse auf der Linie 14 eingesetzt – rund zwölf Kilometer pro Strecke. An den beiden Endhaltestellen wurden Schnellladestationen errichtet.



DETAILIERTE BESCHREIBUNG DER BUSSE

IN EXEMPLARISCH AUSGEWÄHLTEN STÄDTEN



Hersteller:	VDL Bus & Coach bv
Bus-Typ:	Stadtbus, Variante: Gelenkbus
Länge/Kapazität:	18 Meter/48 Sitz- und 110 Stehplätze
Techn. Daten*:	Li-Ionen-Batterien von Akasol, Batteriekapazität > 100kWh
Ladepunkte:	drei Lademasten zur Zwischenladung an Endhaltestellen mit einer Ladeleistung von bis zu 240 Kilowatt (kW)
Betrieb:	Linie 133
Einsatzgebiet:	Köln

Hersteller:	Sileo GmbH
Bus-Typ:	Stadtbus, Variante: Niederflrbus
Länge/Kapazität:	12 Meter/38 Sitz- und 42 Stehplätze
Techn. Daten*:	nutzbare Ladekapazität der Batterie 230 kWh, Reichweite > 200 km, Höchstgeschwindigkeit 75 km/h, zwei 85 kW radnahe Motoren in der Hinterachse
Betrieb:	Testbetrieb zur Analyse von Einsatztauglichkeit und Wirtschaftlichkeit
Einsatzgebiet:	Bonn

Hersteller:	VDL Bus & Coach bv
Bus-Typ:	Stadtbus, Variante Niederflrbus
Länge/Kapazität:	12 Meter/80 Personen
Techn. Daten*:	Ideale und optimale Kombination je Einsatzgebiet durch Auswahl verschiedener elektrischer Antriebe und Batteriepakete
Betrieb:	Linie 14
Einsatzgebiet:	Münster

* Daten lt. Verkehrsstatistik

STAND DER TECHNIK

Elektrobusse sind, wie bereits zuvor ausgeführt, in den Flotten von Verkehrsbetrieben angekommen. Dort werden sie als Stadtbus sukzessive in den Linienbetrieb integriert.

Ein Einsatzgebiet mit planbaren Routen und begrenzten Reichweiten lässt sich bereits heute sinnvoll und wirtschaftlich abbilden.

Des Weiteren können die Busse an den Endhaltepunkten oder auf dem Betriebshof während der Pausen- bzw. Standzeiten aufgeladen werden, so dass im Vergleich zum Individualverkehr die Problematik einer eingeschränkten Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum nicht so stark ausgeprägt ist.

Allerdings lässt sich, aufgrund der noch geringen Marktanteile der Elektrobusse, zum heutigen Zeitpunkt noch kein Industriestandard in Bezug auf die eingesetzten Komponenten und Systeme abbilden.

Plug-in

Das sogenannte Plug-in Laden erfolgt außerhalb des Linienbetriebs und eignet sich besonders für Städte ohne ausgebaute Ladeinfrastruktur im Sinne von z.B. Oberleitungen. Der Ladevorgang kann zum Beispiel über Nacht an der Ladestation auf dem Betriebshof durchgeführt werden. Die Ladestation zeigt dabei notwendige Informationen, z.B. Ladezustand oder Reichweite, an. Sind die Batterien aufgeladen, wird der Ladevorgang automatisch beendet. Zudem kann der aktuelle Ladevorgang häufig über einen Fernzugriff überwacht werden.



LADEKONZEPTE

Es existieren unterschiedliche Konzepte, um Elektrobusse aufzuladen. Dabei wird unterschieden, ob die Batterie fortlaufend oder gelegentlich und während oder außerhalb des Betriebs aufgeladen wird.

Oberleitung

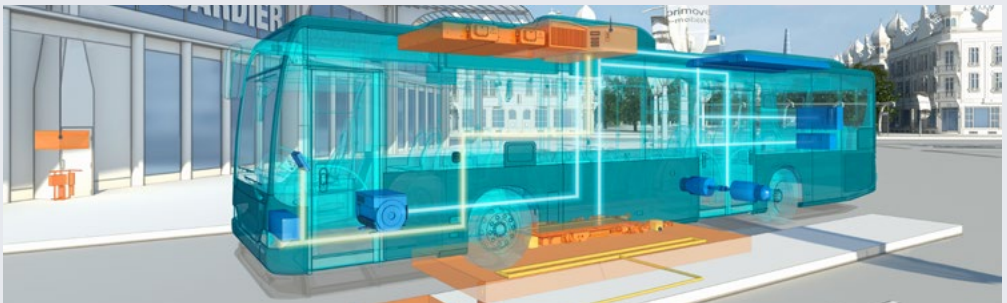
Bei Ladung an einer Oberleitung wird der Elektrobus während der Fahrt über einen Pantographen mit dem Stromnetz verbunden. Vorteilhaft daran ist, dass unterschiedliche Hersteller von Elektrobusen Zugang zum Stromnetz haben. Dem gegenüber steht der hohe Aufwand und die Kosten der Installation eines Oberleitungsnetzes, falls dieses noch nicht vorhanden ist.



Weitere Ladekonzepte

Weiterhin gibt es Ladekonzepte, die gelegentlich im Betrieb z.B. an Bushaltestellen erfolgen. Dabei wird der Elektrobus entweder mit Hilfe eines Pantographen an einen Ladepunkt angeschlossen oder berührungslos über Induktion geladen. In

beiden Fällen wird eine Aufladung innerhalb weniger Minuten angestrebt. Konzepte, in denen ein komplett automatisierter Austausch der Batterie vorgenommen wird, kommen in der Praxis nur sehr vereinzelt vor.



ENERGIESPEICHER

Der Energiespeicher bzw. die Traktionsbatterie ist in vielen Fällen unterhalb des Daches verbaut.

Dadurch kann der Fahrgastraum stufenlos und großzügiger gestaltet werden. Der Energiespeicher ist aus vielen miteinander verbundenen Batteriemodulen zusammengesetzt, die jeweils aus vielen wiederaufladbaren Zellen bestehen.

Kommerziell verfügbare Batterien basieren auf der Lithium-Ionen-Technologie. Aufgrund der hohen Energie- und Leistungsdichte haben sich Lithium-Ionen- und Lithium-Polymer-Batterien in der Elektromobilität durchgesetzt. Im Mittelpunkt

der Forschung stehen u. a. die Weiterentwicklung von Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien, deren Potenzial derzeit noch nicht ausgereift ist.

Jede Lithium-Ionen-Zelle besteht aus einer positiven und einer negativen Elektrode (Kathode bzw. Anode), die durch einen mit einem Elektrolyten getränkten Separator räumlich getrennt sind, um Kurzschlüsse zu vermeiden. Die eingesetzten Materialien von Elektrode und Elektrolyt bestimmen den Einsatzbereich der Energiespeicher.



Runde Zelle



Prisma-Zelle

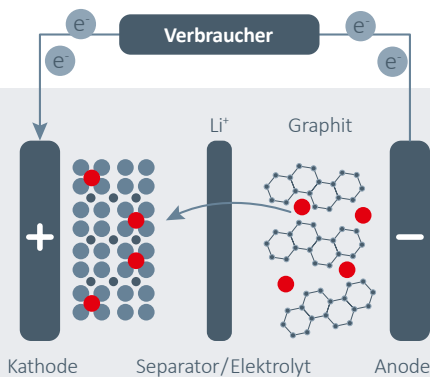


Pouch-Zelle (Coffee Bag)

Materialpaarung	Blei-Säure (PbA)	Nickel-Metallhydrid (NiMH)	Natrium-Nickelchlorid (NaNiCl)	Li-Ionen Batterie (LIB)
Energiedichte [Wh/kg]	25–50	50–80	100–120	90–250
Leistungsdichte [W/kg]	75–300	100–200	100–170	150–315
Kosten [€/kWh]	50–300	180–220	550–750	250

Bei Lithium-Ionen-Zellen konzentrieren sich Hersteller auf drei Bauformen:

Zylindrische, prismatische und Pouch-Zellen – auch Pouchbag- oder Coffeebag-Zellen genannt. Die zylindrische Zelle ist die noch am weitesten verbreitete Form. Pouch-Zellen gewinnen aufgrund der flexiblen Anordnung im Zellverbund immer mehr an Bedeutung. Das Einsatzgebiet der Pouch-Zelle ist aufgrund der empfindlichen Folien, die das Zellengehäuse darstellen, derzeit eingeschränkt.



Die Batterien werden im Gehäuse mit Isolierung und Kühlsystem verbaut und miteinander vernetzt.

Das Batteriemanagementsystem ist die Schnittstelle zwischen Elektrobus und Energiespeicher. Es steuert die wesentlichen Funktionen der Energiespeicher, wie zum Beispiel die Spannung bei (Ent-)Ladevorgängen. Außerdem überwacht es den Temperaturhaushalt der Batterie und reguliert die Kühl- und Heizanlage. Dadurch wird die Lebensdauer und die Leistungsabgabe optimiert.

Zur Veranschaulichung der Dimensionen eines Energiespeichers ist auf der untenstehenden Abbildung ein Hochleistungsbatteriepack dargestellt. Zwei dieser Batteriepacks betreiben mit einer Gesamtkapazität von 60 kWh und einem Gesamtgewicht von 720 kg Niederflurbusse im ÖPNV. Der Elektrobus wird unterwegs an mehreren Haltestellen während des Betriebs geladen, weshalb die Batteriekapazität entsprechend niedrig ausgelegt werden kann. Dadurch werden Gewicht und Platz gespart.



Batteriepack der Firma Bombardier

ANTRIEBSKONZEPTE

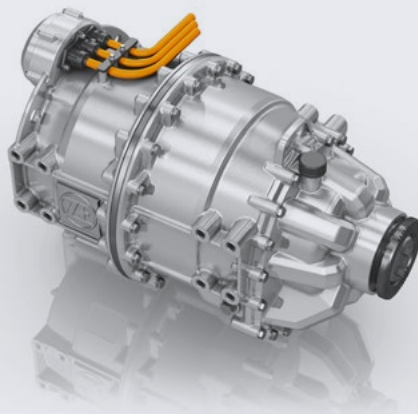
Der Antrieb von Elektrobussen wird entweder zentral oder dezentral ausgelegt.

Beim konventionellen Antrieb werden die Räder, wie beim Fahrzeug mit Verbrennungsmotor, über eine Antriebswelle und über ein Differentialgetriebe angetrieben. Dadurch lassen sich Elektrobusse an bisherige Bauformen leichter adaptieren. Da der Motor zentral im Bus verbaut

ist, wird er auch nicht Umwelteinflüssen (Verschmutzung, Witterung, äußere Stöße) ausgesetzt. Jedoch herrschen durch den höheren mechanischen Aufwand mehr Reibungsverluste und mehr Platzbedarf.

Zentraler Antrieb

Der zentrale Antrieb kommt in der Praxis als konventionelles Konzept häufig vor. Im Projekt *E-Bus Berlin* wird der Elektrobuss der Firma Solaris mit einem Antriebskonzept der Firma Vossloh-Kiepe ausgestattet. Die Batterie wird induktiv geladen. Mit einer Spitzengeschwindigkeit von 65 km/h befördert der 12 m lange Niederflurbus bis zu 70 Personen. Dafür wird ein zentral liegender Elektromotor eingesetzt. Hierfür gibt es weitere Automobilzulieferer, z.B. ZF Friedrichshafen AG, welche diese Art von vollelektrischen Zentralantrieben in ihrem Produktportfolio haben.

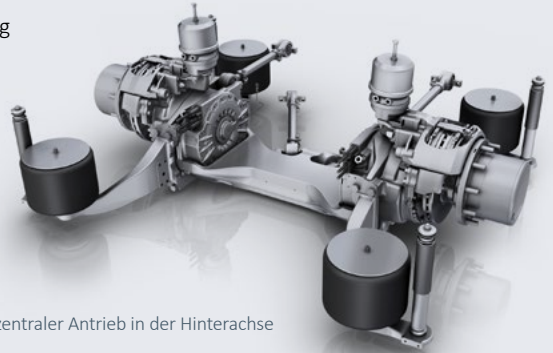


Vollelektrischer Zentralantrieb

Dezentraler Antrieb

Im Gegensatz zum konventionellen Antriebskonzept entfallen beim dezentralen Antrieb die klassischen Antriebsstrangkomponenten (Differentialgetriebe, Antriebswelle) durch die Verwendung von Radnabenmotoren. Dadurch werden der mechanische Aufwand und der Platzbedarf gesenkt. Da die Motoren direkt in der Radnabe platziert sind, sind Allradkonzepte leichter zu realisieren. Nachteilig sind die derzeitigen Kosten sowie die Gefahr vor äußeren Verschmutzungen.

Für die Weiterentwicklung von dezentralen Antriebskonzepten bietet die Firma ZF aktuelle Lösungen. Konkrete Anwendung finden dezentrale Antriebskonzepte insbesondere bei Elektrobussen, z. B. bei der Firma BYD.



Dezentraler Antrieb in der Hinterachse

	Zentraler Antrieb	Dezentraler Antrieb
Platzbedarf	✗	✓
Mechanischer Aufwand	✗	✓
Schutz vor Umwelteinflüssen	✓	✗
Integration von Allradantrieb	✗	✓
Kosten	✓	✗

MOTORISIERUNG

Für Fahrzeugantriebe werden überwiegend Drehstrommotoren verwendet, da sie neben einem hohen Wirkungsgrad eine höhere Robustheit und Lebensdauer als Gleichstrommaschinen besitzen.

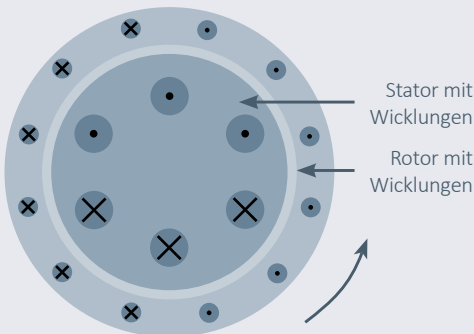
Grundsätzlich bestehen sie aus einem Rotor und einem Stator, die durch Permanentmagnete oder durch stromdurchflossene Wicklungen (Spulen) Magnetfelder erzeugen. Je nach Ausrichtung der Pole dieser Felder wird dann das Drehmoment erzeugt. Entspricht die Drehzahl des Rotors der Frequenz des Stator Drehfeldes, spricht man von einem Synchronmotor. Weicht die Drehzahl des Rotors vom Stator ab spricht man von einem Asynchronmotor. Asynchronmotoren sind robust und kostengünstig.

Fremderregte Asynchronmotoren sind aufgrund der notwendigen Stromübertragung zum

rotatorischen Teil, meist per Schleifkontakte realisiert, über die Lebensdauer nicht wartungsfrei. Permanent erregte Synchronmotoren haben dagegen eine höhere Leistungsdichte und sind wartungsfrei. Da Permanentmagnete aus seltenen Erden hergestellt werden, ist der Synchronmotor i.d.R. teurer.

Primär wird daher für zentrale Antriebskonzepte häufig der Asynchronmotor und für Radnabenantriebe der permanent erregte Synchronmotor verwendet, da hier die Leistungsdichte eine entscheidende Rolle spielt. Beim Radnabenmotor ist der Motor in der Radnabe mit integriert.

Asynchroner Drehstrommotor

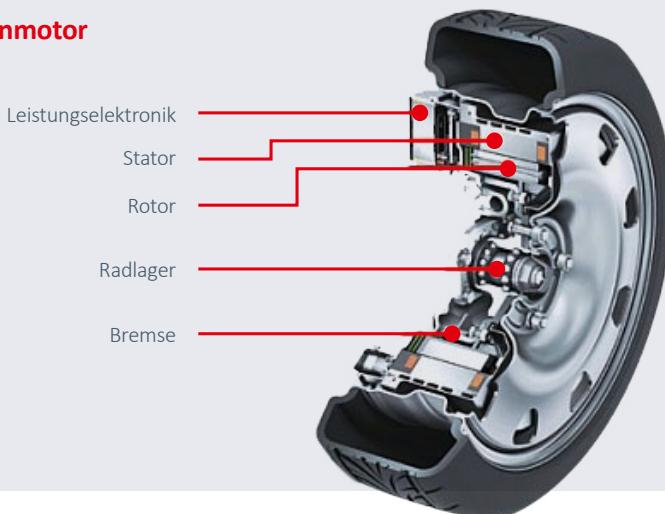


	Synchronmotor	Asynchronmotor
Wirkungsgrad	✓	✗
Leistungsdichte	✓	✗
Lebensdauer	✗	✓
Entwicklungspotential	✓	✗
Kosten	✗	✓

Somit befindet sich der Motor direkt unterhalb der Felge und nutzt den dort zur Verfügung stehenden Bauraum. Das Drehmoment wird direkt vom Rotor auf die Felge/das Rad übertragen. Antriebswellen, Kardanwellen als auch Differentiale werden nicht mehr benötigt. Bei hochintegrierten Radnabenantriebssystemen ist die Leistungselektronik als auch das entsprechende Steuergerät (ECU) ebenfalls in diesem Bauraum untergebracht. Diese Komponenten

befinden sich direkt an der E-Maschine. Radnabenantriebssysteme werden aktuell meist getriebelos entwickelt. Das notwendige Drehmoment wird mit einer Erhöhung der Polpaarzahl der Synchronmaschine erreicht. Fahrdynamik und Fahrsicherheit, somit elektronischen Stabilitätsprogramme, das Antischlupf- und Antiblockiersystem wird durch die hohe Regelgüte und aufgrund der direkten Verbindung von Rotor zu Rad erhöht.

Radnabenmotor



AKTUELLE MARKTBETRACHTUNG

In einer vergleichenden Betrachtung relevanter Elektrobusse lassen sich einige Gemeinsamkeiten erkennen, wenn man die aktuell im Fahrzeug verwendeten Technologien näher analysiert.

Im Niederflrbus sowie im Gelenkbus kommen als Antriebskonzept überwiegend Asynchronmotoren zum Einsatz. Das maximale Drehmoment erstreckt sich über eine Bandbreite von 1.100–2.500 Nm. Die elektrische Leistung liegt bei Niederflrbussen im Bereich von 130–240 kW, bei Gelenkbussen im Bereich von 240–480 kW. In einigen Niederflrbussen werden auch Radnabenmotoren verwendet, z.B. in Elektrobusen der Firma BYD oder ebe EUROPA GmbH.

In beiden Busvarianten werden überwiegend Lithium-Ionen-Batterien als Energiespeicher eingesetzt. Diese Batterietechnologie wird von allen führenden Elektrobusherstellern verwendet, z.B. BYD, Solaris oder Van Hool. Vereinzelt werden aber auch Busse mit Lithium-Polymer-Batterien ausgestattet. Die Batteriekapazität liegt dabei in einer Bandbreite von 215–300 kWh. Damit kann eine elektrische Reichweite von bis zu 300 km erzielt werden. Im Durchschnitt beträgt die Reichweite ca. 200 km hinsichtlich aller Elektrobusse im Analysespektrum.

Als Ladetechnologie kommen bei beiden Busvarianten vorrangig Plug-in-Konzepte mit Ladekabel zum Einsatz. Einige Elektrobusse unterstützen auch das induktive Laden oder das Laden über eine Oberleitung.

	Niederflrbus (12 m)	Gelenkbus (18 m)
Antriebskonzept	Asynchronmotor (In einigen Modellen kommen auch Radnabenmotoren zum Einsatz)	Asynchronmotor
Batterie	215–300 kWh	215–300 kWh
Elektrische Leistung	130–240 kW	240–480 kW
Drehmoment	1100–2500 Nm	n.a.
Elektrische Reichweite	200–300 km	Ca. 300 km
Höchstgeschwindigkeit	80 km/h	70–80 km/h
Ladetechnologie	Plug-in (Einige Modelle unterstützen auch induktive Ladung oder das Laden über eine Oberleitung)	



AUSBLICK

Die vorherigen Ausführungen belegen, dass Elektrobusse zunehmend eine echte Alternative im Rahmen der zukünftig weiter ansteigenden Personenbeförderungsanzahl mit Stadtbussen darstellen. Auf dem Weg hin zu einer höheren Marktrelevanz sowie -durchdringung sind allerdings noch einige Herausforderungen zu bewältigen. Die eingesetzten Elektrobusse sind bisher im Testbetrieb oder auf ausgewählten Linien im Einsatz, die explizit zu den technischen Rahmenbedingungen der Fahrzeuge inklusive der notwendigen Ladeinfrastruktur passen. Bis zum vollständigen Einsatz im gängigen Linienverkehr sind weitere technologische sowie wirtschaftliche Optimierungen notwendig.

Aktuell kann mit den eingesetzten Elektrobussen bereits eine hohe Verfügbarkeit auf spezifischen Linien abgebildet werden. Lag die durchschnittliche Verfügbarkeit bis zum Ende des Jahres 2014 noch bei 67%, so wurde für das Jahr 2015 bereits

eine Verfügbarkeit von bis zu 86%* erreicht. Gründe für Stillstandzeiten reichen hier von mangelnder Ersatzteilverfügbarkeit über Ladeprobleme bis hin zu mehrmonatiger Batteriekonditionierung. An dieser Stelle gilt es, weitere Daten aus dem Testbetrieb zu generieren, um detailliertere Erkenntnisse über z.B. die Batterielebensdauer und optimale Aufladezyklen zu erhalten.

Des Weiteren sollten insbesondere Verbesserungen in der Batterietechnologie - z.B. Erhöhung der Energie- und Leistungsdichte - bei der Auslegung zukünftiger Elektrobusse berücksichtigt werden. Dadurch können sowohl die Reichweite als auch die zusammenhängende Linienverfügbarkeit und die Wirtschaftlichkeit im Sinne von Batteriekosten sowie der korrespondierenden Ladeinfrastruktur weiter verbessert werden.

*deutschlandweite Beobachtung, 17 Elektrobusse



NRW IST ELEKTROMOBILITÄTSLAND



NRW ist Elektromobilitätsland – ElektroMobilität NRW unterstützt dabei

Nordrhein-Westfalen bietet mit dem Ruhrgebiet den größten Ballungsraum Deutschlands. Verkehr und Mobilität sind hier ein Dauerthema. An zahlreichen Hochschulen und Forschungseinrichtungen wird an der elektromobilen Infrastruktur, dem Netzausbau, Fragen zu Batterietechnik und -management sowie neuen Fahrzeugkonzepten geforscht und entwickelt. Für die zahlreichen Automobilzulieferer und die vielen kleinen und großen Energieversorger in NRW ist die Mobilität der Zukunft hierzulande schon heute präsent.

Diese Broschüre wurde von ElektroMobilität NRW erstellt. Wir sind der zentrale Ansprechpartner

für Elektromobilität in Nordrhein-Westfalen. Unsere Aufgabe ist die Unterstützung der Entwicklung von Elektromobilität im Land. Wir organisieren fachbezogene Informationsveranstaltungen, Workshops und Bürgertage, Messeauftritte und veröffentlichen Informationsmaterialien rund ums Thema.

Zu unseren Kernaufgaben gehört neben der Information der Bürgerinnen und Bürger die Unterstützung von Unternehmen und Kommunen bei ihren Überlegungen zur Elektromobilität sowie die Vernetzung aller relevanten Akteure in Forschung & Entwicklung.

Auf www.elektromobilitaet.nrw.de, Twitter (@elektromob_nrw) und dem YouTube-Channel ElektroMobilität NRW können Sie sich im Detail informieren – und ihre Fragen direkt per E-Mail an info@elektromobilitaet.nrw.de richten.

ElektroMobilität NRW

ElektroMobilität NRW ist eine Dachmarke des NRW-Wirtschaftsministeriums. Unter dieser Marke werden sämtliche Elektromobilitäts-Aktivitäten des Landes gebündelt. Unter diesem Dach arbeiten das Kompetenzzentrum ElektroMobilität NRW und die EnergieAgentur.NRW im Auftrag des NRW-Wirtschaftsministeriums an der Fortentwicklung der Elektromobilität in NRW – gefördert von den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).

Elektromobilität ist im Koalitionsvertrag der Landesregierung NRW ein explizites Fokusthema. Nordrhein- Westfalen hat das Ziel, Vorreiter der Elektromobilität in Deutschland zu werden.

ElektroMobilität NRW ist der erste Ansprechpartner für Elektromobilität in Nordrhein-Westfalen.

Partner:

EnergieAgentur.NRW 



Gefördert durch:

Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung