

# Straßenbahnen und Elektromobilität

Felix Huber

*Straßenbahnen sind die älteste und verlässlichste Form von Elektromobilität. Ihre große Bedeutung als schienengebundene, mit elektrischer Energie betriebene öffentliche Personennahverkehrsmittel für den heutigen Stadtverkehr ist eng mit ihren Systembedingungen verknüpft. Straßenbahnnetze haben sich mit der Stadt entwickelt und bedienen diese auf wesentlichen Relationen passgenau. Straßenbahnen werden technisch weiterentwickelt. Elektrobusse werden sie künftig im Angebot ergänzen. Mit alternativer Energie betrieben bilden Straßenbahnen das Rückgrat des postfossilen Verkehrs.*

## Entwicklung der Straßenbahn

### Erste Antriebsformen der Straßenbahn

Straßenbahnen sind die älteste und verlässlichste Form von Elektromobilität. Seit ihrer Entwicklung durch Werner von Siemens im Jahr 1881 befördern sie im Personentransport von Groß- und Mittelstädten täglich Millionen von Menschen höchst umweltfreundlich und komfortabel zu ihren Reisezielen. Die große Bedeutung der Straßenbahn als schienengebundenes, mit elektrischer Energie betriebenes öffentliches Personennahverkehrsmittel für den heutigen Stadtverkehr ist eng mit ihren Systembedingungen verknüpft. Zum einen bereiteten ihre physikalischen und technischen Vorzüge den Weg für eine einzigartige Erfolgsgeschichte. Zum anderen hat die aufeinander bezogene und sich gegenseitig bedingende Entwicklung von Straßenbahnen und Stadtstrukturen bewirkt, dass beide Systeme in besonderer Weise „passgenau“ sind. Gleichzeitig war die elektrische Straßenbahn wichtiger Treiber von weiteren für das Stadtsystem bedeutsamen Entwicklungen.

Das wesentliche Merkmal einer Straßenbahn, der physikalische Vorteil einer Führung des Transportmittels auf Schienen, liegt als Erfindung weit vor der des elektrischen Antriebs. Roland Günter (2001: 15) beschreibt die Schiene als eine Umformung des Weges, um ihn wetterfest und glatt zu machen. In einer Art Trasse berühren die Räder so wenig wie möglich den Boden. „Gußeisen erlaubt, die Räder ganz dünn zu machen: es hat nur einige Zentimeter breit Auflage auf einer Schiene: Einige weite-

re Zentimeter dienen dem Festhalten bzw. Führen des Rades. Damit wird der Widerstand (physikalisch: Reibung) auf ein Minimum reduziert“ (Günter 2001: 15). Das Fahren wird auf das Anfahren, Dahinrollen und Abbremsen reduziert, da die Gleise die lenkende Führung des Fahrzeugs übernehmen.

Die erste Pferdestraßenbahn Deutschlands nahm 1865 in Berlin zwischen dem Brandenburger Tor und Charlottenburg ihren Liniendienst auf. Groneck (2007: 22) schreibt: „Die Vorteile der Pferdestraßenbahn gegenüber den im gleichen Zeitraum verwendeten Pferdeomnibussen lagen in dem sehr geringen Rollwiderstand zwischen Rad und Schiene und damit in einer großen Energieeinsparung sowie in dem erheblich besseren Fahrkomfort und der höheren Reisegeschwindigkeit.“ Hierdurch war es den Pferdestraßenbahnen möglich, mit nur einem Pferd über 20 Fahrgäste zu transportieren.

Pferdebahnen, aber auch andere Traktionsarten wie Dampf-, Kabel-, Gas- oder Druckluftantriebe, wiesen trotz des generellen Fortschritts in der Beförderungsleistung und -qualität spezifische Systemnachteile gegenüber der Elektrotraktion auf. Dazu Groneck (2007: 22): „Allerdings erwiesen sich die Pferdestraßenbahnen sehr schnell in ihrer Leistungsfähigkeit als begrenzt. Die Bewältigung größerer Steigungen war nicht möglich. Für das Ziehen von Straßenbahnen verwendete Pferde konnten nur wenige Stunden am Tag eingesetzt werden und waren nach einigen Jahren nicht mehr für diese Aufgabe geeignet. Weiterhin führte die Betreuung der Pferde zu einem großen Personalaufwand.“

### Felix Huber

leitet das Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbaugesamtheit der Bergischen Universität Wuppertal. Er verfügt über umfangreiche Erfahrung im Aufgabenfeld der umweltverträglichen Stadt- und Verkehrsplanung.  
huber@uni-wuppertal.de

Die Dampftraktion war wiederum mit schweren Maschinen und einem hohen Betriebsaufwand verbunden, weil die Primärenergie im Fahrzeug (Kohletender) mitgeführt und in Antriebsenergie (Wassertank und Dampfmaschine) umgewandelt werden musste. Funkenflug, Dampf- und Rußbelastigung führten zu Problemen in den zumeist noch engen Stadtstraßen. Die Dampftraktion war in dieser Zeit die Energieform des Fernverkehrs und seltener die von Stadteisenbahnen (z. B. in Prien am Chiemsee).

### Die Straßenbahn mit elektrischem Antrieb

1866 entdeckte Werner von Siemens das dynamoelektrische Prinzip und schuf damit die Grundlage zu einer umfangreichen Erzeugung und praktischen Verwertung von Elektrizität. Kraft stand nun rund um die Uhr verlässlich und beliebig erweiterbar zur Verfügung. Die Arbeit konnte losgelöst vom Ort der Energieerzeugung erfolgen, ein gewaltiger Fortschritt für die Entwicklung von neuen Stadtstrukturen und Produktionsmöglichkeiten. Dies machte jedoch den Transport von Strom in Leitungen notwendig. Weitere Erfindungen, wie die der Umformung des Wechselstroms ermöglichten den Transport dieser neuen Energieform in Leitungen über weite Distanzen.

Mit der Entwicklung des elektrischen Antriebs stand erstmals eine saubere, leise, für den wachsenden Beförderungsbedarf und die sich entwickelnde Linienlängen und Betriebszeiten ausreichend leistungsfähige und ökonomisch betreibbare Systemlösung zur Verfügung. Allerdings musste bei der Elektrotraktion der für den Antrieb notwendige Strom zunächst aus Primärenergie außerhalb des Fahrzeugs an einem geeigneten Ort (z. B. Wasser- oder Kohlekraftwerk) erzeugt, zum Fahrzeug transportiert oder in schweren Batterien im Fahrzeug mitgeführt werden. In Hagen setzte man ab 1894 einen mit Akkumulatoren betriebenen Wagen ein. 1896 erwarb die Firma Siemens & Halske aus Berlin, die in der Zeit elektrische Straßenbahnen in großem Stil baute und über Tochterunternehmen betrieb, die Aktivwerte der bis zu diesem Zeitpunkt privaten Hagener Straßenbahngesellschaft und gründete mit der Akkumulatorenfabrik und einem Kapital von 1 Million Mark die heutige Hagener Straßenbahn AG (vgl. Spoden/Thorbow 2009: 7). Entwicklungen, bei denen die Fahrtenergie in Akkumulatoren mitgeführt wurde, setzten sich aber auf Dauer aus Gründen mangelnder Effizienz nicht durch.

So lösten ab 1890 elektrisch betriebene Straßenbahnen mit Oberleitung die Pferdestraßenbahnen ab und ermöglichten mit ihrer Fähigkeit zu großer, kostengünstiger und verlässlicher Transportleistung das Stadtwachstum der Gründerzeit. Halle an der Saale eröffnete 1891 die erste große innerstädtische elektrische Straßenbahnlinie mit Straßenbahnwagen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG). Im gleichen Jahr kamen noch drei weitere Linien hinzu, sodass Halle wohl über das erste elektrische Straßenbahnnetz in Europa verfügte.

Während die Energieerzeugung mit der Dampfmaschine für die erste Industrialisierungsphase steht, prägt die Elektrizität die zweite Industrialisierungsphase ab 1880. Elektrische Straßenbahnen wurden zu Wegbereitern der heutigen Angebotsstrukturen im öffentlichen Personennahverkehr, von zunächst privaten und später kommunalen Energieversorgern im Verbund mit Verkehrsbetrieben unterstützt. Damit vollzieht sich ein weiterer Integrationsschritt hin zur modernen technischen Infrastruktur der Städte.



Eine Pferdebahn begegnet 1896 einem Akkumulatorenwagen in Hagen

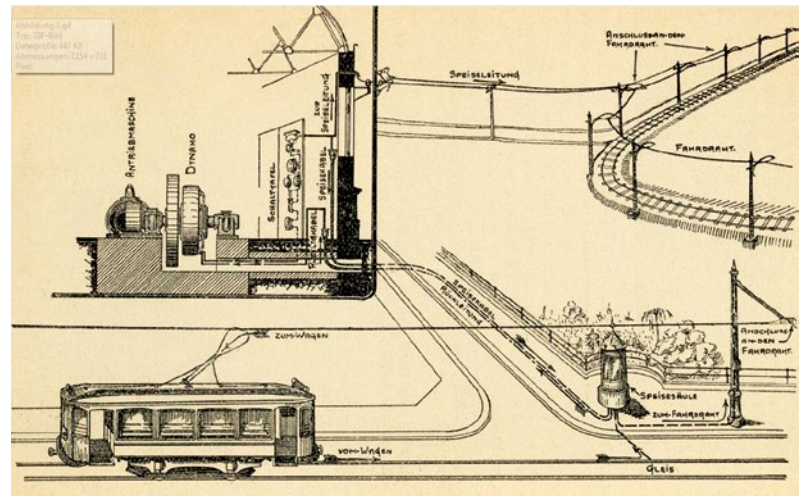
Quelle: Spoden/Thorbow 2009: 12, Foto: Archiv der Hagener Straßenbahn AG

Mit der elektrischen Straßenbahn bauten zahlreiche Städte entlang der Straßen Stromleitungsnetze auf, die an kommunale Elektrizitätswerke angeschlossen wurden (z.B. 1892 Bochum, 1897 Dortmund). Elektrizitätswerk und Straßenbahngesellschaft bildeten oft eine unternehmerische Einheit, zu deren Betrieb zahlreiche neue private oder kommunale bzw. öffentlich betriebene Unternehmen sowie Kapitalgesellschaften, nicht selten als gemischte Verkehrs- und Energieversorgungsunternehmen, gegründet wurden – die heutigen Stadtwerke. Um 1900 existierten in Deutschland bereits etwa 150 Straßenbahnbetriebe (vgl. Wirtschaft International 2016).

### Straßenbahn und Stadtstruktur

Die besondere Passung von Straßenbahn und Stadtstruktur ergibt sich aus der städtebaulichen, gesellschaftlichen und volkswirtschaftlichen Entwicklung von Industrialisierung und Gründerzeit. In Europa fiel die Entstehung der Straßenbahnen in die Zeit der Befreiung der Städte von den Fesseln der militärstrategisch und -technisch überholten Stadtmauern und Gräben im Kontext einer rasanten Stadtentwicklung. Aufgrund des zügig voranschreitenden Ausbaus der Industrie, der sich auf wissenschaftliche Entdeckungen, bahnbrechende Erfindungen sowie neue Werkstoffe und Produktionsweisen gründete, wuchsen die Städte sprunghaft. Die demografische Entwicklung der Kaiserzeit kennzeichnete ein großes Kinderreichtum. Im ländlichen Raum wurden aufgrund des Produktionsfortschrittes Arbeitskräfte, sogenannte Überschussbevölkerung, freigesetzt, die in der Stadt als Industrie- oder Bergarbeiter gefragt waren. Für den Transport benötigten die sich rasch ausdehnenden Städte preiswerte und leistungsfähige Verkehrsangebote, auch wenn sich die Arbeiter die Fahrt mit den Straßenbahnen zunächst noch nicht leisten konnten. Allerdings wuchs die Schicht eines unteren und mittleren Bürgertums heran, die Transportleistung von Straßenbahnen nachfragte. Pferde-Equipagen und die in Deutschland hoch besteuerten ersten Autos blieben der wohlhabenden Oberschicht des gehobenen Bürgertums, hohen Militärs und dem vermögenden Adel vorbehalten.

**Abbildung 1**  
Schematische Darstellung einer elektrischen Straßenbahneinspeisung über Oberleitung



Quelle: Hödl 2015: 199

Mit der straßenbahntechnischen Erschließung des Umlands der Städte legten die kommunalen Entscheidungsträger die erreichbarkeitstechnische Grundlage zur Ansiedlung rasch wachsender Industriebetriebe in der Stadtperipherie und förderten das Zusammenwachsen der sich ausdehnenden Kernstädte mit Vororten. Nach dem Bau der Linien auf den Radialen errichteten sie auch Ringbahnen um den Stadtkern (z.B. in Wien), die dem Verlauf der ehemaligen Wallanlagen folgten. Erste Linienangebote wurden auf eingleisigen und später aufgrund der wachsenden Nutzungsintensität auf zweigleisigen Relationen in den Innenstädten (z.B. in Dortmund, Halle, Wien) oder zwischen Städten (Barmen – Elberfeld) realisiert, die eine hohe Fahrgastnachfrage erwarten ließen. Dabei bezogen die Planer wichtige Ziele wie die Stadtmitte (Marktplatz) und den damals noch neuen, verkehrsbedeutsamen Bahnhof in das Linienangebot ein. Mit dem Preußischen Kleinbahngesetz, das zur Erschließung eher landwirtschaftlich geprägter Regionen dienen und die Wirkungen der Landflucht mindern sollte, begann ab 1892 die Blütezeit der Straßenbahn. Bis zu Beginn des Zweiten Weltkriegs wurden die Streckennetze der Straßenbahnen im Zuge von Eingemeindungen massiv ausgebaut, indem die Linien auf den Radialen bis in die Umlandgemeinden verlängert wurden.

Angesichts des weiteren raschen Wachstums gab es zumindest in den großen Me-

tropolen bereits um die Jahrhundertwende Überlegungen, mit strombetriebenen U-Bahnen (z. B. Berlin oder Hamburg) oder Hochbahnen (z. B. Schwebebahn in Wuppertal) in die dritte Dimension auszuweichen, um die Schienenwege frei von Randeinflüssen aus der Bebauung und kreuzungsfrei führen zu können, aber auch um Stadtstraßen für den Individualverkehr freizuräumen. Aufgrund der erheblichen Probleme mit Dampfbetrieb in U-Bahntunneln (z. B. Wien) setzte sich für die Schnellbahnen der emissionsfreie elektrische Antrieb durch. Mit diesen neuen Verkehrsmitteln ging ein weiterer System sprung einher, da die Leistungsfähigkeit der Straßenbahn bezogen auf Transportkapazität und -geschwindigkeit weiter stieg.

Während die Straßenbahn in Deutschland in den 1920er-Jahren ihre Blütezeit erlebte, führten die U-Bahn und die Automobilentwicklung in den Vereinigten Staaten zeitgleich dazu, dass immer mehr Straßenbahnlinien stillgelegt wurden. Der amerikanischen Automobilindustrie gelang es, in der öffentlichen Wahrnehmung die Vorstellung zu verankern, Straßenbahnen würden den Verkehrsfluss des Autos behindern und das Stadtbild stören! Vermutlich aber waren die automobil-induzierten und -affinen Stadtstrukturen des „Urban-Sprawl“ im Westen der USA sowie die von den Paradigmen der europäischen Stadt nunmehr abweichenden Vorstädte im Osten der Vereinigten Staaten nicht mehr mit dem linienerschließenden Verkehrsmittel Straßenbahn, ihrem erhöhten Nachfragebedarf und Infrastrukturaufwand kompatibel.

Nach dem Ersten und auch Zweiten Weltkrieg wurden Straßenbahnen in Deutschland, trotz zum Teil weitreichender Zerstörung, vergleichsweise rasch für einen Notbetrieb wiederhergestellt, um die Erreichbarkeit der Innenstädte zu sichern. In dieser Zeit wurden elektrische Straßenbahnen wegen fehlender Alternativen auch zum Transport von Waren und Gütern (z. B. Gemüse oder Kohlen) in die Innenstadt eingesetzt. Hierzu gab es eigene Transportwaggons.

In Städten wie Darmstadt oder Osnabrück ergänzten Oberleitungsbusse in den ersten Nachkriegsjahren das Netz der elektrischen Straßenbahn.

### Turbulente Zeiten für Straßenbahnen

In Deutschland leiteten die 1950er- und 1960er-Jahre ein neues Planungsverständnis in Bezug auf die Straßenbahn ein. Während die häufig als Hochbauarchitekten ausgebildeten Stadtbauräte der ersten Nachkriegszeit die Straßenbahn auf eigenem Bahnkörper in ihre autogerechten Ausbauentwürfe einbezogen (z. B. Rudolf Hillebrecht in Hannover, Friedrich Tamms in Düsseldorf oder Friedrich Hetzelt in Wuppertal), ging wenige Jahre später mit der nach wissenschaftlichen Methoden und ingenieurtechnischer Rationalität betriebenen Verkehrsplanung die Abschaffung der elektrischen Straßenbahnen einher. Die nach dem Krieg häufig provisorisch mit altem Material wieder in Betrieb genommenen Straßenbahnsysteme standen vor einer kostenträchtigen, grundsätzlichen



Gütertram in Wuppertal

Quelle: Terjung 1997: 102,  
Foto: Eduard J. Bouwman,  
Sammlung Reiner Bimmermann

Instandhaltungs-, Erneuerungs- und Modernisierungsphase, um in die wiederaufgebauten Städte zu passen. Die „dahin bummelnde“ Straßenbahn galt als altmodisch und nicht zukunftsfähig, auch wenn die Bevölkerung sie liebte. Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ließen den Parallelbetrieb eines Straßenbahn- und eines Bussystems wegen des doppelten Betriebsaufwands als unwirtschaftlich erscheinen. Einige Städte entschieden sich für den flexibler einsetzbaren und auch stärker flächenerschließenden Bus oder O-Bus (z. B. Hamburg, Solingen). Aachen, Kiel, Bremerhaven und Wuppertal schafften ihre Straßenbahn ab und bereuen diese Entscheidung bis heute. In den Großstädten beherrschten die Leistungsfähigkeitskategorien der Schnell-, U-Bahn und Stadtbahnssysteme die Gedanken der Planer und Entscheidungsträger. In der Aufbruchstimmung des Wirtschaftswunders schien es keine Rolle zu spielen, dass diese Systeme bis zum fünffachen der Straßenbahn kosteten.

In den 1970er- und 1980er-Jahren vollzog sich mit steigenden Benzinpreisen und Ölkrise, ab den 1990er-Jahren mit wachsendem Umweltbewusstsein eine Trendwende. Die Städte erkannten die Stadtbedeutsamkeit und die Umweltvorteile der elektrisch betriebenen Straßenbahn. In Deutschland steigerten Vorrangschaltungen an Lichtsignalanlagen, eine unabhängige Trasse auf vielen Strecken, Niederflurtechnik und digitale Verkehrsleittechnik die Attraktivität dieses verlässlichen und leistungsfähigen ÖV-Systems. Französische Städte wie Nantes,






Straßburg, Grenoble, Bordeaux und Valenciennes führten aufbauend auf gesetzlich verankerten staatlichen Hilfen für den Straßenbahnbau neue Straßenbahnsysteme ein, die sie städtebaulich vorbildlich integrierten. Die Straßenbahn galt nun als Instrument der Stadterneuerung und Stadtentwicklung. An die Stelle der bummelnden, rumpelnden Straßenbahnen traten moderne Hochleistungszüge der „light rail“, die fast lautlos durch die Städte glitten. Futuristische Designs in Wagenmaterial und Straßenbahninfrastruktur sowie Experimente mit neuen Technologien zeigten, dass die elektrische Straßenbahn mit ihrem Entwicklungspotenzial noch nicht am Ende war.

Heute hat die elektrische Straßenbahn das Potenzial, sich zum Rückgrat eines mit alternativen Energien betriebenen postfossilen (Gesamt-)Verkehrssystems zu entwickeln – integriert in den Umweltverbund aus ÖPNV, Fuß- und Radverkehr und erweitert um verschiedenste Sharing-Systeme.

### Systembedingungen der elektrischen Straßenbahn als Basis für den Umweltverbund

Energie- und Verkehrswende sind zwei Seiten einer Medaille. Strom ist die „internationale Währung“ der beiden Systeme, da sich jegliche Energieform in Strom verwandeln lässt. Aus alternativen Quellen gewonnener Strom ist die „reliableste Energieform“ und die am vielseitigsten nutzbare Form sauberer Energie.

**Abbildung 2**  
Überblick über die Entwicklung der elektrischen Straßenbahn an ausgewählten Beispielen

	Siemens & Halske, Berlin	Duewag/Kiepe AEG GT8, Düsseldorf	Duewag/Siemens, GT8S, Düsseldorf	Siemens/Kiepe NF8, Düsseldorf	Siemens/Kiepe NF8U, Düsseldorf
					
Baujahr	1881	1959–1969	1973–1974	2003	2006–2012
Geschwindigkeit	40 km/h	67 km/h	70 km/h	65 km/h	70 km/h
Leistung	5 PS	2 x 95 kW	2 x 150 kW	4 x 100 kW	4 x 100 kW
Leermasse		27.780 kg	34.980 kg	33.420 kg	35.500 kg
Spurweite	1.000 mm	1.435 mm	1.435 mm	1.435 mm	1.435mm
Steh- und Sitzplätze	26	268	225	168	174

Quelle: Berliner Verkehrsseiten 2016, Trampicturebook 2016, Wikipedia 2016  
Fotos: Bild links: Quelle: Wikimedia 2009, alle anderen Bilder: Rheinbahn AG



Müller-Hellman (vgl. 2014: 3) charakterisiert die Vorteile elektrischer Fahrzeugantriebe ganz allgemein wie folgt: Elektrische Antriebe entwickeln volles Drehmoment im Stand und benötigen daher kein mehrstufiges Getriebe. Einfach aufgebaut realisieren sie die Energiewandlung mit hohem Wirkungsgrad und sind daher sehr energieeffizient. Da sie wenig Wartung beanspruchen, relativ leise sind und selbst keine Schadstoffe während des Betriebs verursachen, sind sie für den Einsatz im urbanen Gemeinschaftsverkehr sehr gut geeignet. Allerdings benötigen sie teure Speicher, verfügen über eine begrenzte Reichweite und erfordern leistungsfähige Ladeinfrastrukturen. Beim Bremsvorgang kann zudem Nutzenergie in das System zurückgespeist werden. Elektrische Straßenbahnen wurden ausgehend von einem zweiachsigen Fahrzeug in Einfachtraktion zu wahren Hochleistungszügen entwickelt. Dennoch geht die Entwicklung weiter, wobei die Systemkomponenten der klassischen elektrischen Straßenbahn wechselseitig durch andere Technologien substituiert werden.

Allerdings: Die Schiene war und ist Vor- und Nachteil der Straßenbahn zugleich. Die Herstellung und Unterhaltung eines Gleiskörpers – und später der Oberleitung – ist mit Aufwand verbunden. Beide legen den Fahrweg fest und sind mit erheblichen Investitions- und Unterhaltungskosten verbunden. Straßenbahnen sind damit in besonderer Weise dauerhaft an ihren Linienweg gebunden. Als weiterer Schwachpunkt des Systems werden die städtebaulich vielfach als störend empfundenen Oberleitungen und das Gewicht des Stromabnehmers auf den Fahrzeugen angesehen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Lösungsansätze entwickelt, um Oberleitungen zu vermeiden.

- Bei der mittig zwischen den Fahrschienen liegenden ebenerdigen Stromschiene werden Segmente immer dann unter Spannung gesetzt, wenn eine Straßenbahn über ihnen fährt (Bordeaux).
- Energie kann in Batterien oder Superkondensatoren mitgeführt werden (Nizza).
- Induktives Laden an Haltepunkten ist optisch günstig, aber kostenintensiv.

Über den Wirkungsgrad existieren unterschiedliche Angaben (Augsburg, Projekt „primove“, Braunschweig)

- In Hybridantrieben können z. B. Dieselmotoren als Range Extender<sup>1</sup> wirken.
- Betriebsstrecken mit Oberleitungen oder Stromschienen können mit Strecken im Batteriebetrieb kombiniert werden, wobei die Batterien in den Strecken der externen Stromversorgung geladen werden.

Auch mit Fahrzeugen, die einen Hybrid zwischen Straßenbahn und Bus darstellen, wird experimentiert:

- Das Translohr-Konzept kombiniert die Vorteile von O-Bus und Straßenbahn (Clermont-Ferrand, Padua). Die Fahrzeuge fahren nicht auf Schienen, sondern wie Busse auf Gummireifen und werden mit einer mittig verlegten Führungsschiene geführt. Die Energiezufuhr erfolgt über eine Oberleitung. Das Translohr-System stellt eine Weiterentwicklung des Spurbus-Systems (Nancy) dar, das sich aus dem O-Bus entwickelt hat. Der Translohr ist kostengünstiger und leichter an neue oder geänderte Linienwege anpassbar als Straßenbahnen.
- Das System Phileas ist der Versuch, die Schiene durch eine Spurführung zu ersetzen. Bei diesem System wird der spurgeführte Bus auf eigener Spur durch Navigation auf einer vorprogrammierten Route geführt und durch ein Magnetleitsystem in der Straße überprüft. Phileas könnte autonom fahren. Das System wird seit 2004 in Eindhoven getestet und betrieben.

Neben diesen technologischen Entwicklungen liegt aber vor allem Potenzial in der Entwicklung der elektrischen Straßenbahn als „Systemintegrator der Elektromobilität“. Von Müller-Hellmann (2014) stammt die bestechende Idee, die in den Städten verlegten Energietrassen des Straßenbahnsystems zu nutzen, indem der Fahrdraht und die Unterwerke als Verknüpfungspunkte zur Ladeenergieentnahme von anderen Formen der Elektromobilität wie E-Bussen, E-Kommunalfahrzeugen oder E-Mobilen

(1)  
Dabei handelt es sich um einen zusätzlichen Energiespeicher, der von der Batterie unabhängig ist und auch „Reichweitenverlängerer“ genannt wird.

und Pedelecs dienen. Die Energieinfrastruktur holt sich gleichsam den E-MIV über die Energieversorgung an ihre Trassen und löst damit ein zentrales Problem der Elektromobilität – den Aufbau der Ladeinfrastruktur. Die Haltepunkte entwickeln sich zu multimodalen Verknüpfungspunkten der Elektromobilität.

Diese Ideen haben jedoch auch eine wirtschaftsrechtliche Komponente. Mit der Verknüpfung von Stromtrassen der elektrischen Straßenbahn zur Ladung von E-MIV werden die Verkehrsbetriebe zu Stromhändlern bzw. -lieferanten. Vor diesem neuen Geschäftsfeld mit den damit verbundenen Risiken schrecken die Verkehrsbetriebe zurück. Werden für dieses Problem keine Lösungen in Form von Anreizen und Motivationsmodellen gefunden, könnte dieser verkehrs- und umweltpolitisch wichtige Ansatz scheitern.

---

### Umwelteffekte der elektrischen Straßenbahn im Vergleich der Verkehrsmittel

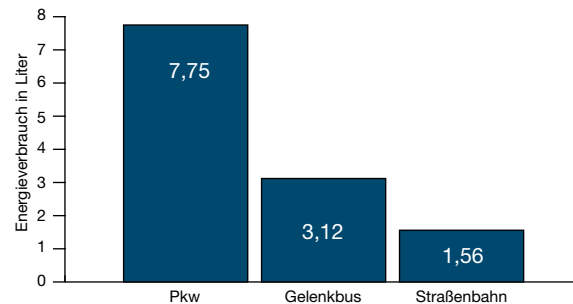
---

#### Energieverbrauch

Thomas Naumann (2009: 11) schreibt zum Energieverbrauch der Verkehrsmittel: „Zwar verbraucht eine Straßenbahn der 40m-Klasse (2008) pro Fahrgast/100 km nur das Äquivalent von 0,25 l Treibstoff, ein Gelenkbus für die gleiche Leistung mit 0,5 l doppelt und ein Pkw der Mittelklasse siebenmal so viel (Besetzungsgrad je 50 %). Aber eine Straßenbahn benötigt heute fünfmal so viel Energie, um die gleiche Beförderungsleistung (in Personen-km) zu erbringen wie vor 50 Jahren. [...] Regenerative Bremsen wirken nur, wenn ein Verbraucher in der Nähe Energie aufnimmt, sonst wird diese über Dachwiderstände vernichtet.“

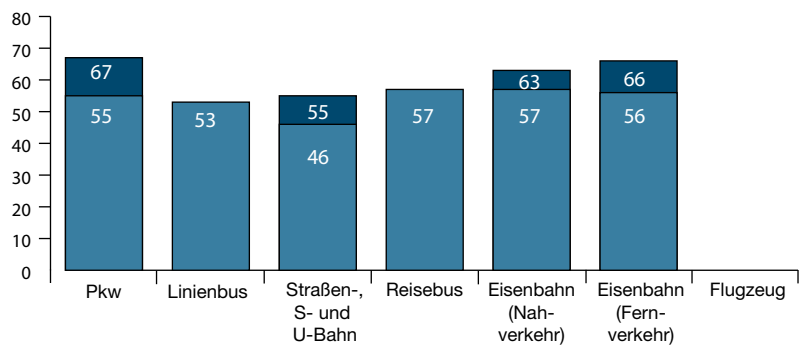
Neue Technologien tragen dazu bei, den Wirkungsgrad der Straßenbahnen zu erhöhen. Naumann (2009: 11) weist darauf hin, dass es inzwischen Paketlösungen aus Hochleistungskondensatoren gibt, die Bremsstrom auf dem Fahrzeug zum erneuten Verbrauch speichern. Fahrasistenzsysteme und Energieverbrauch-Simulationstools helfen, Traktionsenergie einzusparen.

**Abbildung 3**  
Energieverbrauch von Personenverkehrsmitteln bei einem Besetzungsgrad von 50 % (Auto: Mittelklassewagen)



Quelle: Straßenbahn Bremerhaven 2016

**Abbildung 4**  
Spezifische Schallemissionen von Personenverkehrsmitteln in dB(A), bezogen auf eine Beförderungsleistung von 1.000 Personen pro Stunde



Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012: 3

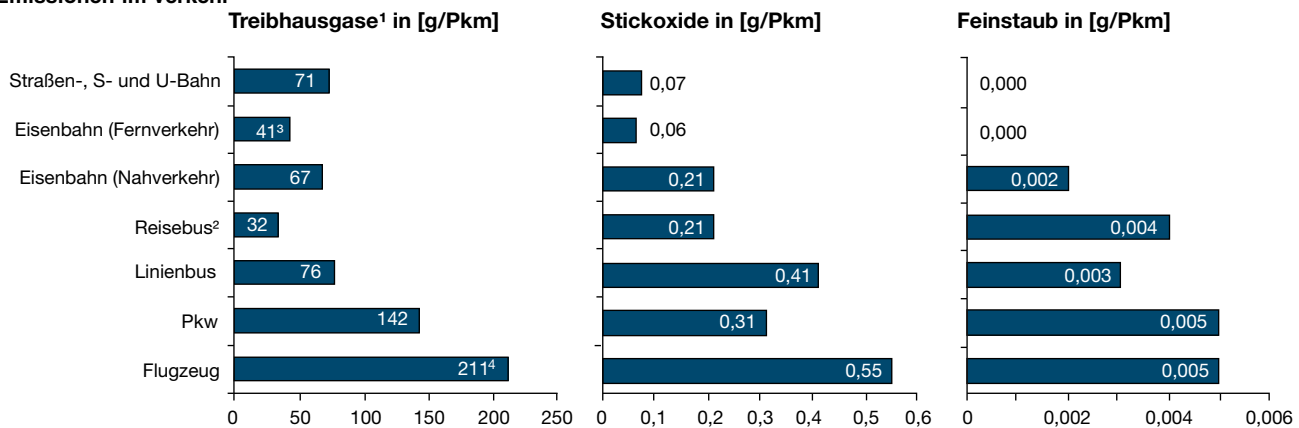
#### Erschütterungen und Lärm

Moderne Straßenbahnen laufen zur Dämpfung von Schwingungen auf Gleisen, die auf Neopren gelagert und daher elastisch sind. Bei einer Gleisbettung nach dem heutigen Stand der Technik lassen sich Erschütterungsschäden an Gebäuden ausschließen und Belastungen von bei Erschütterungen empfindlichen Nutzungen weitgehend vermeiden. Gleichzeitig wird der Schienenverkehrslärm durch solche technischen Lösungen, aber auch durch Rasengleise gemindert. Diese können bis zu 7 dB geringere Lärmemissionswerte aufweisen als ein geschlossener Oberbau (vgl. Naumann 2009: 11).

#### Schadstoffe

Im Vergleich zum Auto entsteht bei der Straßenbahn pro Person und Kilometer

**Abbildung 5**  
**Emissionen im Verkehr<sup>2</sup>**



<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

<sup>2</sup> Die Kategorie „Reisebus“ umfasst Busse im Gelegenheitsverkehr (z.B. für Klassen- oder Kaffeefahrten) und Fernlinienbusse. Differenzierte Daten stehen für Jahr 2014 nicht zur Verfügung.

<sup>3</sup> Die in der Tabelle ausgewiesenen Emissionsfaktoren für die Bahn basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland. Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z.B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den in der Tabelle dargestellten Werten ab.

<sup>4</sup> Unter Berücksichtigung aller klimawirksamen Effekte des Flugverkehrs (EWF = Emission Weighting Factor = 2)

Quelle: nach Umweltbundesamt 2016

im Durchschnitt des heutigen Strommixes nur rund ein Viertel des klimaschädlichen CO<sub>2</sub>. Bei Einsatz regenerativer Energiequellen sinkt der Anteil noch deutlicher. Gerade die in Innenstädten und an städtischen Hauptverkehrsachsen häufig Grenzwerte überschreitenden Stickoxide und Feinstäube können durch den Einsatz von Straßenbahnen – gegenüber konventionellen Dieseln – deutlich reduziert werden. In den Hauptverkehrszeiten fällt dieser Vorteil aufgrund der dann höheren Fahrgastzahlen noch deutlicher zugunsten der Straßenbahnen aus. Auch wenn die Straßenbahn mit klassischem Energiemix betrieben wird, hat sie den Vorteil, dass sie nicht zur Luftverschmutzung in den Innenstädten beiträgt. Bei vollständiger Speisung mit regenerativen Energien wie dies Städte wie Ulm und Freiburg tun, kann sie zum echten Null-Emissions-Verkehrsmittel werden (vgl. Naumann 2009: 11).

### Flächeninanspruchnahme

Zum Flächenbedarf der Straßenbahn schreibt Martin Randelhoff (2015): „Der Pkw-Verkehr benötigt mit Abstand die größten Flächen, der Fuß- und Radverkehr ist am flächeneffizientesten. Der öffentliche

Personenverkehr benötigt zwar ebenfalls relativ große Flächen – insbesondere bei unabhängigen und besonderen Bahnkörpern – ist aber aufgrund der hohen Massenleistungsfähigkeit und Fahrzeugkapazität auch bei einer Auslastung von nur 20 % vergleichsweise effizient. Steigt die Auslastung auf 80 % oder höher, ist der ÖPNV mit Abstand das flächeneffizienteste Verkehrsmittel.“

Dieter Apel (1990: 8), der den Flächenbedarf von Verkehrsmitteln untersucht hat, kommt zu folgender Aussage: „Der Bedarf an Straßenverkehrsfläche pro beförderte Person ist in Abhängigkeit von der Verkehrsgeschwindigkeit bzw. für unterschiedliche Betriebszustände (flüssiger Verkehr, zähflüssiger Verkehr, Stau) aufgetragen. Der mit Abstand größte Flächenbedarf pro Person entsteht bei der Fahrt mit einem Pkw. Er ist 5- bis 10-mal so groß wie bei der Nutzung des Fahrrads und 20- bis 30-mal so groß wie beim Fußgängerverkehr. Gegenüber Busverkehr ist der Flächenbedarf des Pkw-Verkehrs im Mittel 20-mal so groß. Den geringsten Flächenanspruch pro Person hat die Straßenbahn. Der Flächenbedarf des Pkw-Verkehrs beträgt dagegen im Mittel das 30-fache, er steigt mit zunehmender Verkehrsgeschwindigkeit an.“

(2)  
Umweltbundesamt 2016:  
„Vergleich der Emissionen einzelner Verkehrsträger im Personenverkehr – Bezugsjahr: 2014“; TREMOD 5.63



Fasst man die Umweltvorteile der elektrischen Straßenbahn zusammen, zeigt sich, dass Vorteile der Straßenbahn in umweltpolitischen Dimensionen liegen. Aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz verbraucht die Straßenbahn pro Person im Vergleich zum Auto nur ein Fünftel der Energie. Sie ist leiser als der Pkw-Verkehr und sie benötigt für die gleiche Transportleistung deutlich weniger Fläche.

Um diese Vorteile zu realisieren, muss die Straßenbahn mit Strom aus erneuerbaren Energien und auf aufkommensstarken Achsen im optimalen Einsatzbereich betrieben werden. Die Hersteller müssen, wie die Automobilindustrie auch, dazu angehalten werden, energiesparsamere Bahntechnologien zu entwickeln.

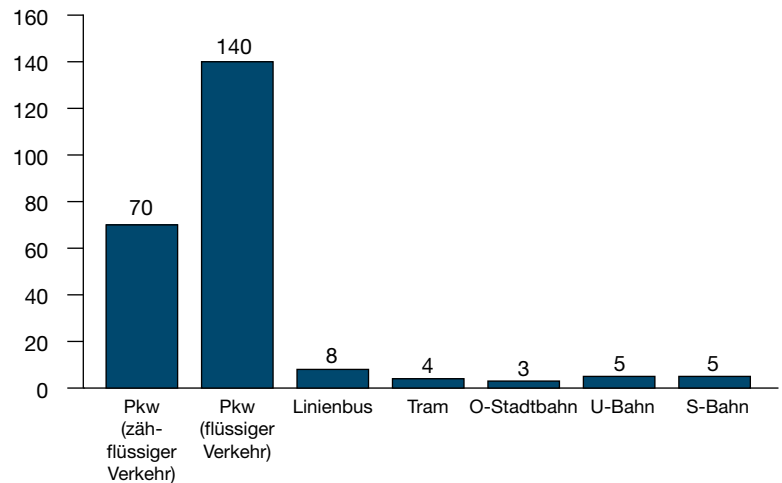
### Beitrag der elektrischen Straßenbahn zum postfossilen Verkehrssystem in Städten

Mit den Forderungen des Europäischen Weißbuch für Verkehr „Halbierung der Nutzung ‚mit konventionellem Kraftstoff betriebener PKW‘ im Stadtverkehr bis 2030; vollständiger Verzicht auf solche Fahrzeuge in Städten bis 2050“ (Europäische Kommission 2011: 10) und den Beschlüssen des UN-Klimagipfels von Paris, die Erderwärmung auf weniger als zwei Grad Celsius, womöglich gar auf 1,5 Grad zu begrenzen, beginnt die Suche nach mit alternativen Energien betreibbaren, umweltfreundlichen Verkehrsmitteln großer Leistungsfähigkeit, was den Mengentransport, die Geschwindigkeits- und Reichweitenperformance, die Verlässlichkeit und die Finanzierbarkeit anbelangt. Hier drängt sich die elektrische Straßenbahn als Rückgrat des Stadtverkehrs der Zukunft geradezu auf. Sie wird zum zentralen Verkehrsmittel der postfossilen Mobilität.

Die Straßenbahn erschließt mittlere und große Städte oberirdisch

- in den Schwerelinien der Austauschbahnen der Kernstadt,
- verknüpft den Nah- mit dem Fernverkehr,

**Abbildung 6**  
Flächenbedarf in m<sup>2</sup> pro beförderte Person im Stadtverkehr – Verkehrsmittel im Vergleich bei jeweils gesondertem Fahrweg



Quelle: nach Apel 1990: 6, 7

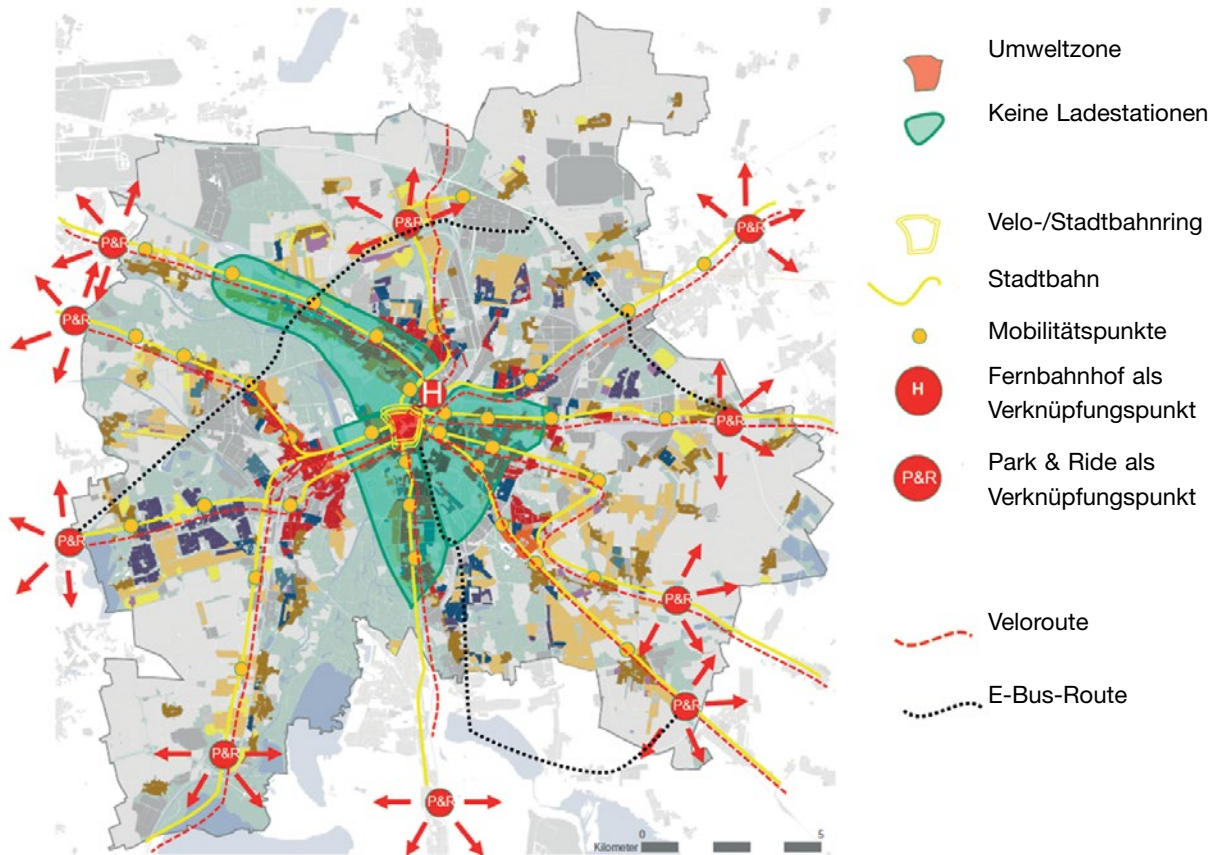
- erschließt die zentrale Innenstadt in Haltestellenabständen, die der Nahmobilität (Fußgänger, Fahrrad) entsprechen,
- bedient die Radialen mit stadtdäquater Leistungsfähigkeit
- und bezieht zunehmend die Vororte in das Bedienungssystem ein.

Sie ist das in vielen Städten vorhandene Verkehrsmittel der europäischen Stadt, die man im Übrigen aus der Straßenbahn sehr schön „erfahren“ kann.

Die Straßenbahn wird damit zum Kernbaustein der multimodalen, nachhaltigen Mobilität und aller Bedienungsformen mit alternativen Energien (Elektromobilität). Bereits heute besitzen viele Straßenbahnstädte diese starke Basis mit der oberirdisch und städtebaulich integrierten Tram. Denkt man im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung weiter, so lässt sich folgendes Bild skizzieren:

In der zentralen Innenstadt sollte die Fußgängerzone den Fußgängern vorbehalten bleiben. Dennoch durchfährt die elektrische Straßenbahn in einigen Städten die Fußgängerzone. Diese „Lieferung von Kunden frei Haus“ und an definierbare Punkte wird oft als Problem gesehen und zu wenig als einmalige Chance begriffen (vgl. Beitrag Topp/Diener).

**Abbildung 7**  
**Systembild einer E-Mobilitätsstruktur, in der die Straßenbahn das Rückgrat der Bedienung bildet**



Quelle: nach Huber/Reutter 2015: 13

Die Zufahrt im Lade- und Lieferverkehr sollte künftig nur noch E-Transportern gestattet werden. In den Seitenstraßen und -gassen wird Elektrofahrrädern sowie ggf. elektrischen Kleinkrafträdern die Benutzung erlaubt. Elektroautos können in diese Bereiche gar nicht oder nur mit einem zuvor festgelegten Maximalgewicht einfahren. Velorouten durch die zentrale Innenstadt ergänzen das System.

Der Innenstadtring verfügt über eine ÖPNV-Trasse (E-Straßenbahn). Der Bus-ÖPNV auf dem Innenstadtring wird mit alternativen Antrieben (Hybrid-/E-/Wasserstoff-Antrieb, Stromzufuhr über Caps, Oberleitung oder induktiv) ausgestattet. Velorouten/Radschnellwege werden über den Innenstadtring geführt. Geschützte Stellplatzanlagen und Flächen mit entsprechender Ladeinfrastruktur für Radangebote werden den Haltestellen des ÖPNV (z. B. Kreuzung Ring/Radiale) zugeordnet.

Der Hauptbahnhof stellt die verkehrsstrategisch bedeutsame Schnittstelle zwischen

Fern- und Nahverkehr dar. Er befindet sich in idealtypischer räumlicher Zuordnung zum städtischen ÖPNV und bietet sich als zentraler Anlaufpunkt für alle Arten von Mobilitätsdienstleistungen und -beratung an.

Innenstadtnahe Wohngebiete und Großwohnanlagen zeichnen sich in der Regel durch eine gute Erreichbarkeit mit dem Umweltverbund aus und sind auf jeden Fall für eine Erschließung durch die Straßenbahn relevant. Hier ist zudem das Fahrradfahren durch alle bekannten verkehrsplanerischen Maßnahmen generell zu fördern. Ein Schwerpunkt muss auf Stellflächen, insbesondere auch für E-Bikes, mit Sicherungsbügeln gelegt werden. Entsprechende Ladeinfrastruktur in Zuordnung zu den wichtigen Haltestellen des ÖPNV ist vorzusehen.

Die Radialen und Tangenten verfügen zu meist über leistungsfähige ÖPNV-Trassen und damit in der Regel auch über Stadt- und Straßenbahnen. Sie zeichnen sich in

der Regel durch eine gute Erreichbarkeit mit dem Umweltverbund aus. Hier ist das Fahrradfahren auch von E-Bikes durch alle bekannten verkehrsplanerischen Maßnahmen zu fördern. Velorouten können auf den Radialen oder zwischen den Radialen geführt werden.

In den Einfamilienhaus- und Dorfgebieten sollte möglichst keine Ladeinfrastruktur für E-Mobile im öffentlichen Straßenraum, sondern nur auf Privatflächen angeordnet werden. An geeigneter Stelle sind Flächen für quartiersbezogenes Car-Sharing mit Ladeinfrastruktur vorzusehen. Für Radteiler-Angebote mit guter Erreichbarkeit zum Umweltverbund sind auch für E-Bikes Stellflächen mit Sicherungsbügeln und entsprechender Ladeinfrastruktur in Zuordnung zu den wichtigen Haltestellen des ÖPNV vorzusehen.

An geeigneten Punkten im Zulauf auf die City sollten an den Verknüpfungspunkten von Pendler- bzw. Park-and-Ride-Plätzen geeignete Stellplatzanlagen mit Flächen für Car-Sharing bzw. private E-Mobile und E-Bikes mit Ladeinfrastruktur und mit den erforderlichen Sicherungs- und Witterungsschutzanlagen errichtet werden. Diese Fahrzeuge dienen der Bedienung in die Fläche.

---

#### Systemergänzung mit E-Bussen zwischen Synergien und Konkurrenz

---

Aktuell stellen sich dem öffentlichen Personennahverkehr neue Aufgaben, die mit Straßenbahnen schwer zu erfüllen sind:

- Die Nachfrage nach ÖPNV-Leistungen steigt stetig. 2015 hatte der ÖPNV nach Angaben des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen VDV zum ersten Mal über 10 Milliarden Fahrgäste und steigerte damit die Fahrgastzahlen seit 1997 zum 18. Mal hintereinander (vgl. VDV 2016).
- Staus in Innenstädten und auf den Innenstadtzufahrten verlangen nach neuen ÖPNV-Angeboten.
- Die Vorgaben der Luftreinhaltung (NOx, Feinstaub) und der Lärminderung können in vielen Städten nicht eingehalten



In Leipzig fährt die Straßenbahn über den Ring und ist dort mit dem Hauptbahnhof verknüpft

Foto: Lars Brüggemann

werden. Deutschland sieht sich aktuell mit einem Vertragsverletzungsverfahren der Europäischen Union für Stickoxide konfrontiert. Es besteht die Gefahr, dass Dieselfahrzeuge und damit auch Dieselfahrzeuge bei sich absehbar weiter verschärfenden Grenzwerten oder Klagen betroffener Stadtbewohner nicht mehr in die Innenstädte einfahren dürfen. Städte und Verkehrsunternehmen erproben bereits den Ersatz dieselgetriebener Busse durch emissionsfreien ÖPNV.

- Die Ziele des Klimawandels weisen in Richtung des postfossilen Verkehrs. Seit der UN-Klimakonferenz in Paris ist der Prozess des Ausstiegs aus fossilen Treibstoffen unumkehrbar. Hier muss auch der Verkehr seinen Beitrag leisten...

...oder wie Müller-Hellmann (2016) sagt: „nachdem der ÖV schon sehr, sehr lange zu 2/3 elektrisch fährt, geht es nun darum, das letzte Drittel elektrisch zu bedienen“.

Für diesen neuen Bedarf nach zusätzlicher öffentlicher Verkehrsleistung, der kurzfristig bedient werden muss, können Straßenbahnangebote nicht überall rasch genug erweitert werden. Die Kapazitäten auf den vorhandenen Linienangeboten können nur zum Teil – zum Beispiel durch weitere Taktverdichtung oder eigene Bahnkörper sowie durch den Ausbau der Haltestellen für Dreifachtraktion oder den Bau neuer





Elektrobus beim Ladungsvorgang. Mit einem Pantographen wird der Kontakt zur Ladestation hergestellt und der unter 10 Minuten dauernde Ladevorgang durchgeführt.

Foto: Kevin Valte

Linien – erweitert werden. Die Planungszeiträume sind lang! In der planerischen Abwägung gestaltet sich in den Straßenräumen die Bereitstellung der Flächen für die Verlängerung von Bahnsteigen und neuen eigenen Bahnkörpern schwierig und mancherorts fehlt die Akzeptanz der Bürger (vgl. Stadtbahnprojekt „Campusbahn Aachen“, Oberhausen „Linie 105 nach Essen“, Bürgerentscheid „Stadtbahnlinie 5 Bielefeld“).

Auch wenn vielerorts nach wie vor Straßenbahnlinien sehr erfolgreich ertüchtigt, ausgebaut oder neu errichtet werden (z.B. München, Tramlinie 16 St. Emmeram), kann der Elektrobus in dieser Situation eine wichtige systemergänzende und/oder ersetzende Rolle übernehmen.

Er kann vorhandene Straßeninfrastruktur nutzen – allerdings häufig mit fehlender Störungsfreiheit, die nur durch Bevorrechtigungen („Busspuren“) sichergestellt werden kann, er ist in Linienführung und Haltepunktanordnung flexibler einsetzbar und er fährt ebenfalls emissionsfrei und leise.

Verkehrsbetriebe in Dresden, Bonn, Braunschweig, Berlin, Brügge oder Köln beginnen damit, Elektrobusse erstmalig im Linienbetrieb in Ergänzung der Straßenbahnangebote und als Ersatz von Bussen mit Dieselantrieb einzusetzen. Auf der Linie 133 (siehe Abb. 8) werden in Köln für 9.000 Fahrgäste pro Tag erstmals acht reine Elektro-Gelenkbusse im harten Betriebsalltag

auf einer verkehrlich stark belasteten Strecke eingesetzt. Die Ladung erfolgt als Vollladung nachts auf dem Betriebshof und an den Endhaltestellen als Schnellladung über auszufahrende Pantografen, die sich automatisch mit Ladehauben verbinden.

Der elektrisch angetriebene Bus läutet eine Weiterentwicklung im ÖPNV ein, die sich in ihrer Dynamik mit der Einführung der Straßenbahn vor 150 Jahren vergleichen lässt. Seine Flexibilität ist die Chance des Elektrobusse. Seine Einführung wird wiederum zu nachhaltigen Veränderungen und völlig neuen Betriebs-, Technik-, Personal- und Organisationsstrukturen im ÖPNV führen. Die Konstellationen der Zulieferer und Fahrzeughersteller entlang der „Wertschöpfungskette Bus“ formieren sich neu. An die Stelle bisher oft noch überwiegend national geprägter, aber international agierender Zulieferbeziehungen treten multinationale Kooperationsstrukturen. Aber auch die Verkehrsbetriebe selbst müssen sich neu organisieren, ihre Personalstrukturen aufgrund veränderter Anforderungen umbauen und ihre Betriebseinheiten (Depot, Werkstätten, Leitzentralen, Ladeinfrastruktur) an die veränderten Anforderungen anpassen.

Elektromobilität im Bussektor verlangt neue Organisationsstrukturen:

- Organisationskonzept mit
  - Fahrzeugkonzept
  - Haltestellenkonzept
  - Werkstattkonzept
- Betriebskonzept mit Monitoring

Die Ablösung eines auf Dieselmotoren gestützten ÖPNV-Netzes durch E-Busse ist eine komplette technische, betriebliche und wirtschaftliche Optimierungsaufgabe. Sie verlangt unter Nutzung von Simulations- und Optimierungsprogrammen spezifisch ausgelegte Fahrzeuge und Ladestrukturen, um die betrieblich notwendige Verlässlichkeit, aber auch Flexibilität zu gewährleisten. Die Verkehrsbedingungen, Haltestellenabstände und -häufigkeit, Steigungen und Linienlängen sowie die Möglichkeit zu Ladehalten bestimmen das Betriebskonzept und die Auslegung von Batterien und Elektromotoren. Im Betrieb erhalten die Betreiber Echtzeitinformationen mit Reichweitenvorhersagen und Energiestatistiken.

Verkehrsbetriebe mit Straßenbahn- oder O-Buserfahrung haben bei dieser Umstellung naturgemäß geringere Schwierigkeiten. Insofern entwickeln die Busersteller Gesamtpaketlösungen, bei denen E-Busse mit Batterie-Leasing, Wartung und Betrieb aus einer Hand angeboten werden. Dies hat den Vorteil, dass die Verkehrsbetriebe frei von technischen Fragen, wie beispielsweise Batteriewartung und -lebensdauer sind, und das Ausfallrisiko auf den Dienstleister übertragen können.

Die Energieversorger interessieren sich für die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur und der elektrischen Energie als weitere Dienstleistung. Die Zukunft gehört der induktiven Ladung. Mit der Entwicklung der Batterietechnik wird sich der Aufwand für eine dezentrale Ladeinfrastruktur deutlich reduzieren. Ladetrassen, bei denen das Laden während der Fahrt möglich ist, scheinen schwierig. Dagegen werden das multimodale Charging und das Öffnen der Ladestationen etwa für Kommunalfahrzeuge als Option angesehen, die Kosten für die Ladeinfrastruktur auf viele Schultern zu verteilen.

Derzeit werden die ersten Linienkonzepte ausschließlich aus dem Blickwinkel der Verkehrsunternehmen betrachtet. Für ganze Netze im E-Busbetrieb müssen sehr großen Mengen an möglichst alternativer Energie zu definierten Zeiten bereitgestellt werden. Dazu sind betriebsstrategische Anforderungen der Energieversorger in die Optimierungsbetrachtungen einzubeziehen, etwa um niedrige Energiepreise in Schwachlastzeiten zu nutzen oder, um die Ladepunkte nahe an den Ort der Energieerzeugung heranzubringen.

---

## Fazit

---

Energiewende, Klimaschutz, Luftreinhaltung und Lärminderung erfordern die Neukonzeption des Gesamtverkehrssystems. Beim Umstieg auf eine multimodale und integrierte Elektromobilität spielen die elektrische Straßenbahn mit einer leistungsfähigen Bedienung der Stammstrecken und der E-Bus als logische Verknüpfung zu feinverteilenden Verkehrsmitteln der Flächenbedienung die zentralen Rollen im kommunalen Verkehrssystem.



**Abbildung 8**  
**E-Bus-Linie 133 in Köln.**  
**Die Blitze markieren die Ladepunkte an den Endhaltestellen**

Quelle:  
eigene Abbildung nach  
Nahverkehrspraxis 2016



Für das Depot-Charging wird neue Infrastruktur benötigt und es müssen erhebliche Mengen an Strom geliefert werden Foto: Furrer + Frey, [www.oprid.com](http://www.oprid.com)

Die Straßenbahn hat sich mit der europäischen Stadt entwickelt und bedient passgenau die wichtigen Relationen und Verkehrsziele in der Stadt. Ihre Systembedingungen und ihre Leistungsmerkmale lassen sie unter zukunftsweisenden Verkehrsparadigmen besonders attraktiv erscheinen. Mit alternativer Energie betrieben kann die Straßenbahn höchst umweltfreundlich zu deutlich geringeren Kosten als Schnell- und U-Bahnen die Stadt mit deutlich höherer Leistungsfähigkeit als Busse bedienen. Durch ihre Attraktivität als beliebtes Oberflächenverkehrsmittel ist sie in der Lage, Kunden zu binden („pull“) und mit ihrem eigenen Bahnkörper kann sie unerwünschte Verkehre verdrängen („push“). Im Verbund mit stromangetriebenen Bussen macht sie den ÖPNV zum Vorreiter der Verkehrswende.

## Literatur

- Albrecht, Volker, 2011: Auswirkungen von urbanen Schieneninvestitionen auf den Wohnungsmarkt, Wuppertal, Dissertation an der Bergischen Universität Wuppertal, Fachzentrum Verkehr.
- Apel, Dieter, 1990: Leistungsfähigkeit und Flächenbedarf der städtischen Verkehrsmittel, Kapitel 2.5.1.1, In: Bracher, Tillmann; Dziekan, Katrin; Holzapfel, Helmut; Huber, Felix; Kiepe, Folkert; Reutter, Ulrike; Saary, Katalyn; Schwedes, Oliver (Hrsg.): Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, 07/09, Neuauflage.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012: Schall- und Erschütterungsschutz im Planfeststellungsverfahren für Landverkehrswege, Zugriff: [http://www.lfu.bayern.de/laerm/doc/verkehr\\_erschuetterungsschutz.pdf](http://www.lfu.bayern.de/laerm/doc/verkehr_erschuetterungsschutz.pdf) [abgerufen am 01.06.2016].
- Berliner Verkehrsseiten, 2016: Straßenbahn Berlin. Zugriff: <http://www.berliner-verkehrsseiten.de/strab/Geschichte/Lichterfelde/lichterfelde.html> [abgerufen am 01.06.2016].
- Europäische Kommission, 2011: WEISS-BUCH: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Brüssel.
- Gronck, Christoph, 2007: Französische Planungsleitbilder für Straßenbahnsysteme im Vergleich zu Deutschland, Dissertation an der Bergischen Universität Wuppertal, Fachzentrum Verkehr.
- Hödl, Johann, 2015: Vom Sesselträger zum Silberpfeil – 200 Jahre Wiener Verkehrsgeschichte, Wiener Linien (Hrsg.).
- Huber, Felix; Reutter, Ulrike, 2015: Potenziale und mögliche Entwicklungspfade für Elektromobilität in Leipzig und alternative Mobilitätsmaßnahmen, Fachgutachten, Leipzig.
- Lambrecht, Udo; Diaz-Bone, Harald; Höpfner, Ulrich, 2001: Bus, Bahn und Pkw auf dem Umweltprüfstand – Vergleich von Umweltbelastungen verschiedener Stadtverkehrsmittel. Studie gefördert durch den VCD im Rahmen des UBA-Vorhabens 299 96 135: Strategie zur Berücksichtigung fahrzeugbezogener Umweltstandards bei der wettbewerblichen Vergabe von ÖPNV-Leistungen. Heidelberg.
- Müller-Hellmann, Adolf, 2014: Elektromobilität – Leeres Schlagwort oder realistische Vision?, Vortrag in Hamburg, Branchenforum Bahn.
- Müller-Hellmann, Adolf, 2016: Vortrag auf der 7. VDV-Akademie, Konferenz Elektrobusse – Markt der Zukunft! Electric Buses – Market of the Future!, Berlin, 29.02.2016–01.03.2016
- Nahverkehrspraxis, 2015: VDL übergibt ersten E-Bus an KVB. Zugriff: <http://www.nahverkehrspraxis.de/news/nahverkehrspraxis-news/article/vdl-uebergibt-ersten-e-bus-an-kvb/> [abgerufen am 01.06.2016].
- Naumann, Thomas, 2009: Straßenbahnen und ihr Beitrag zur nachhaltigen Mobilität – Grundlagen und Handlungsstrategien. In: Bracher, Tillmann, Dziekan Katrin, Holzapfel Helmut, Huber, Felix, Kiepe, Folkert, Reutter, Ulrike, Saary, Katalyn, Schwedes, Oliver (Hrsg.): Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, 07/09, Neuauflage.
- Randelhoff, Martin, 2014: Vergleich unterschiedlicher Flächeninanspruchnahmen nach Verkehrsarten (pro Person), Stand: 05.02.2015. In: Zukunft Mobilität. Zugriff: <http://www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzoegerung-vergleich/> [abgerufen am 01.06.2016].
- Schliffke, Frank, 2012: Hochbahn Baustart für Mobilitätspunkt. In: Der Rote-Renner – Wirtschaftsnachrichten für ÖPNV-Unternehmen. Zugriff: <http://roter-renner.de/nc/detail/datum/2012/12/10/hochbahn-baustart-fuer-mobilitaetspunkt.html> [abgerufen am 01.06.2016].
- Spoden, Paul-Gerhard; Thorbow, Dirk, 2009: 125 Jahre Hagener Straßenbahn AG, Hagener Straßenbahn AG (Hrsg.), Hagen.
- Straßenbahn Bremerhaven, 2016: Die Straßenbahn. Für die Zukunft Bremerhavens. Zugriff: <http://www.strassenbahn-bremerhaven.de/warum-strassenbahn/die-vorteile-der-tram/> [abgerufen am 01.06.2016].
- Terjung, Bernhard, 1997: Straßenbahnen in Wuppertal, Nordhorn.
- Trampicturebook, 2016: Rheinische Bahngesellschaft, Rheinbach – Technische Daten. Zugriff: <http://www.trampicturebook.de/tram/astolfi/duesseldorf/data-gt8.php> [abgerufen am 01.06.2016].
- Umweltbundesamt, 2016: Vergleich der Emissionen einzelner Verkehrsträger im Personenverkehr – Bezugsjahr: 2012; TREMOD 5.63. Zugriff: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten> [abgerufen am 01.06.2016].
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 2016: Personenverkehr, 27.01.2016: Bilanz 2015: erst-mals über 10 Milliarden Fahrgäste im ÖPNV, Pressemitteilung. Zugriff: <https://www.vdv.de/pressemitteilungen.aspx?id=d9d1945d-771e-4fbb-bdad-5a974a813765&mode=detail> [abgerufen am 01.06.2016].
- Wikimedia, 2009: First electric tram – Siemens 1881 in Lichterfelde. Zugriff: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First\\_electric\\_tram\\_-\\_Siemens\\_1881\\_in\\_Lichterfelde.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_electric_tram_-_Siemens_1881_in_Lichterfelde.jpg) [abgerufen am 01.06.2016].
- Wikipedia, 2016: Straßenbahn Düsseldorf, Fahrzeuge. Zugriff: [https://de.wikipedia.org/wiki/Stra%C3%9Fenbahn\\_D%C3%BCsseldorf#Fahrzeuge](https://de.wikipedia.org/wiki/Stra%C3%9Fenbahn_D%C3%BCsseldorf#Fahrzeuge) [abgerufen am 01.06.2016].
- Wirtschaft International, 2016: Strassenbahn. Zugriff: [http://www.wirtschaft-international.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=416&Itemid=77](http://www.wirtschaft-international.de/index.php?option=com_content&task=view&id=416&Itemid=77) [abgerufen am 01.06.2016].