

PRO BAHN e.V., Axel Sindram, Höhe 13, 42329 Wuppertal

**Zusätzlich oder anstelle der
Seilbahn:

Ein Elektrobuskonzept für
Wuppertal**

PRO BAHN
Regionalverband Bergisches Land e.V.
<http://bergischesland.probahn-nrw.de>

Axel Sindram
Höhe 13
42329 Wuppertal
E-Mail: casindram@gmail.com

Wuppertal, den 06.06.2017

Ausgangslage:

Durch die ständig weiter steigende Luftschadstoffbelastung sind die meisten Großstädte gezwungen, zur Vermeidung von Fahrverboten den vom Straßenverkehr ausgehenden Schadstoffausstoß deutlich zu vermindern.

Eine Möglichkeit hierzu soll die Umstellung städtischer Dieselbusflotten auf elektrische Antriebe bieten. Diese tragen zwar insgesamt nur ca. 5%¹ der Luftschadstoffmenge bei, sie sind jedoch in den Blickpunkt geraten, weil der städtische Aufgabenträger hier im Gegensatz zu Privatfahrzeugen überhaupt Einfluss auf die Wahl der Antriebsart nehmen kann. In Wuppertal wird die Einführung eines E-Bus-Systems zudem als Alternative zu dem geplanten Seilbahnprojekt vorgeschlagen, ohne jedoch zugleich Ansätze zur Verbesserung der unzureichenden Bedienungsqualität (geringe Reisegeschwindigkeit, Verspätungsanfälligkeit...) im Busverkehr aufzuzeigen.

Mittlerweile befindet sich in zahlreichen Städten eine durchaus nennenswerte Zahl von Systemen in der Erprobung, die jedoch kostenseitig derart deutlich über einem vergleichbaren Dieselbusbetrieb liegen, dass ihre Einführung nur mit zusätzlicher Förderung durch Bund und Land möglich sein wird. Eine flächenhafte Umstellung des ÖPNV auf Elektrobusbetrieb erfordert daher vermutlich entsprechende dauerhafte Förderprogramme von Bund und Land, auch über die aktuellen Pilotphasen hinaus.

Zu den Pilotprojekten sind aktuell einige Publikationen erschienen, deren ergänzende Lektüre empfohlen wird.²

¹ Siehe z.B. Luftreinhalteplan Köln 2012 in Wuppertal liegt dieser Prozentsatz wegen höherer Anteile des Busverkehrs am Gesamtangebot des ÖPNV evtl. höher,

² Steiner, Stephan: Stand und Entwicklungstendenzen bei elektrisch betriebenen Linienbussen, www.trolley-motion.eu, Div.Beiträge in „Der Stadtverkehr“ Ausg. 3,4/2017

Moderne Antriebskonzepte lösen keine Verkehrsprobleme



Diese hängen lediglich davon ab, wie wir Verkehr organisieren



1Nicht die Antriebsart ist entscheidend sondern die Organisation. Quelle: KVB

Das aktuelle Wuppertaler Busnetz ist durch folgende grundsätzliche Stärken und Schwachstellen geprägt, welche auch den wesentlichen Verbesserungsbedarf bestimmen. Bedingt durch die Topographie werden auf vergleichsweise engen Straßen und kaum vorhandenen Sonderfahrstreifen nur geringe Reisegeschwindigkeiten erzielt. Zum anderen erfordert die Topographie ein hohes Maß an Feinerschließung, welches durch ein dichtes Netz auf verschiedenen Linienwegen

gewährleistet wird. Zur Beseitigung dieser Mängel hat bereits der erste Nahverkehrsplan für die Stadt Wuppertal aus 1997 zahlreiche Beschleunigungsmaßnahmen vorgeschlagen, deren Umsetzung weiterhin im wesentlichen aussteht aber im größeren Zusammenhang mit einer anstehenden Umstellung des Netzes auf elektrischen Betrieb in Angriff zu nehmen wäre.

Allgemeine Anforderungen für ein Elektrobussystem

Ortsfeste Infrastruktur:

Je nach gewähltem System werden Stromversorgungseinrichtungen benötigt

- Zur ständigen Stromversorgung während der Fahrt (Obus, 2-polige Fahrleitungen)
- Zur ständigen Stromversorgung und Batterieladung während der Fahrt (2-polige Fahrleitungen „In Motion Charging-IMC“)
- Zur Aufladung der Batterien auf dem Betriebshof („Overnight“)
- Zur Zwischenladung (Schnellladung) an den End- und Zwischenhaltestellen einer Linie mittels Kontaktarm („Opportunity“)
- Zur Zwischenladung (Schnellladung) an den End- und Zwischenhaltestellen einer Linie durch Induktion (System „Primove“)

Alle Systeme stellen sich als bedeutende Verbraucher innerhalb des städtischen Stromversorgungsnetzes dar

Für die Versorgung von Brennstoffzellenbussen wird eine Tankstelle für Wasserstoff (H₂) benötigt, darüber hinaus eine örtliche Anlage zur Elektrolyse, solange ein zentrales Verteilnetz (noch) nicht zur Verfügung steht.

Fahrzeuge:

Elektrische ÖV-Fahrzeuge können im Vergleich zu Diesel-Varianten zumeist nicht frei im Verkehrsnetz eingesetzt werden, weil sie entweder leitungsgebunden (Obus) oder nur mit Batterien begrenzter Reichweite ausgestattet sind. Mit Ausnahme der reinen „Overnight“-Varianten werden daher Versorgungsanlagen entlang der Strecke benötigt.

Personal / Werkstätten

In reinen Busbetrieben bestehen keine Erfahrungen/Kapazitäten zu elektrischen Fahrzeugausrüstungen, für Arbeiten an den zumeist auf dem Dach montierten

Systemen sind zusätzliche Arbeitsbühnen notwendig. Ebenso wären die Werkstattmitarbeiter weiter zu qualifizieren.

Vergleich der Systeme

Anwendung:

Obusse weisen ihre Eignung für die Verkehrsverhältnisse im täglichen Solinger Betrieb nach, sie können daher auch für alle Wuppertaler Strecken als uneingeschränkt einsetzbar gelten. Allerdings erfordert der Bau von Fahrleitungsanlagen und Unterwerken einen erheblichen zeitlichen Vorlauf und die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens, in welchem durchaus mit Widerständen zu rechnen ist (Stadtbild, „Elektrosmog“). Welche Strecken Obusse auch ohne Fahrdraht zurücklegen können, hängt von dem jeweils eingebauten Zusatzantrieb ab. Hierbei gilt: Die Aufwendungen für Zusatzantriebe/-Speicher steigen mit der geforderten zusätzlichen Reichweite auf Streckenabschnitten ohne Fahrdraht. Umgekehrt sinken entsprechend die Kosten für Bau und Unterhalt der Fahrdrahtanlagen. Fahrleitungen sichern eine hohe Energieverfügbarkeit für mehrere Fahrzeuge gleichzeitig, auch für Hilfsantriebe und bei ungünstigen Witterungsbedingungen. Da die Stromzuführung relativ gleichmäßig erfolgt, sind nur vergleichsweise geringe Anpassungen im Stromversorgungsnetz erforderlich.

Das „An- und Abdrachten“ sowie Umschaltung des Antriebs kann in < 30 Sek. und damit während eines Haltestellenaufenthalts ohne Reisezeitverlust erfolgen. Diesel-Hilfsaggregate sind zumeist leistungsschwach und für längere und vor allem steigungsreiche Streckenabschnitte nicht (mehr) zu empfehlen. Batterien für IMC-Busse können auf eine deutlich geringere Kapazität ausgelegt werden als für reinen Batteriebetrieb

Hybridbusse sind seit etwa 5-10 Jahren mit unterschiedlichen Antriebstechniken (seriell, parallel) im VRR im Einsatz. Ihr Einsatz ist freizügig wie bei reinen Dieselfahrzeugen und erfordert insbesondere keinerlei ortsfeste Infrastruktur für die Stromversorgung. Einer flächendeckenden Einführung steht jedoch bislang ihr hoher Anschaffungspreis von 700.000.-€ im Vergleich zu nur 350.000.-€ für einen Dieselbus ebenso entgegen wie die i.d.R. nur geringen bis gar nicht erzielten Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch. Ursächlich hierfür ist das höhere Fahrzeuggewicht und die z.T. äußerst geringe Reichweite im rein elektrischen Fahrbetrieb.

Brennstoffzelle: Ein Brennstoffzellenbus kann ebenfalls freizügig im Liniennetz eingesetzt werden, eine Wasserstofftankfüllung ermöglicht vergleichbare Reichweiten. Allerdings benötigt er zur Abdeckung von Leistungsspitzen einen zusätzlichen Batteriespeicher, der vergleichbar zu dem anderer Batteriebusse auszulegen ist. Beides führt zu einem erhöhten Fahrzeuggewicht (20t) und damit geringerer Fahrgastkapazität. So lange zudem ein Versorgungsnetz für Wasserstoff nicht aufgebaut ist, oder der Wasserstoff nicht als Abfallprodukt in einem Chemiewerk anfällt, muss dieser entweder verflüssigt zur Tankstelle gefahren, oder örtlich durch Elektrolyse erzeugt werden.

Batteriebetriebene Systeme

- 1) „Overnight“ Dieses System erfordert die geringsten Aufwendungen für ortsfeste Ladeinfrastruktur, weil nur „über Nacht“ in dem Betriebshof geladen wird. Allerdings sind für einen ganztägigen Betrieb ohne Zwischenladung besonders große Speicherkapazitäten in den Batterien erforderlich. Diese führen ggfs. zu erhöhten Fahrzeuggewichten und damit geringerer Passagierkapazität. Wenn zudem alle Busse gleichzeitig über Nacht mit 50 Kw Ladeleistung (batterieschonende Normalladung) komplett aufgeladen werden sollen, wäre für die Wuppertaler Busflotte (300 Busse), wenn es eine Komplettumstellung wie in Hamburg geben sollte, eine Ladeleistung von 15.000 Kw an einem oder zwei Betriebshöfen punktuell zu installieren. Dies wäre mit erheblichen Anpassungsarbeiten im Stromversorgungsnetz verbunden. Der Strom könnte aber, wenn nachts überschüssiger Windstrom zur Verfügung steht, zumindest günstig eingekauft werden. Mit höherer Ladeleistung könnte in kürzerer Zeit an weniger Ladestellen im „Mehrschichtbetrieb“ geladen werden. Schnellladungen verursachen jedoch wiederum einen erhöhten Batterieverschleiß.
- 2) „Opportunity“ : Das System kommt im Vergleich zu „Overnight“-Anwendungen mit einer geringeren Batteriekapazität aus und kann daher tendenziell durch Gewichtersparnis mehr Fahrgäste befördern. Die Errichtung einer Vielzahl von Schnell-Ladestellen an Linienendpunkten bedeutet ebenfalls erhebliche Eingriffe in das Stromversorgungsnetz, diese sind zudem städtebaulich zu integrieren und vor Vandalismus zu schützen. Wegen der nur geringen Reichweite bis zum nächsten Ladezeitpunkt – insbesondere bei extrem kalten oder warmem Wetter- ist eine hohe Fahrplanstabilität erforderlich, die bei der Kölner Modell-Linie offenbar nicht erreicht wird und durch eine hohe Fahrzeugreserve aufgefangen werden muss. Zudem verlängert die Ladezeit an Endstellen den Fahrzeugumlauf, so dass allein hierdurch ggfs. im Vergleich zum vorherigen Dieselbetrieb zusätzliche Fahrzeuge erforderlich werden. Diese offensichtlichen Nachteile werden in Eindhoven durch das umfangreiche Busspuren-Programm vermieden, die höheren Reisegeschwindigkeiten und die nur einmalige Zwischenladung im Betriebshof nach 4 Umläufen lassen einen erheblich wirtschaftlicheren Fahrzeugeinsatz im wesentlichen ohne Reservefahrzeuge zu.
- 3) Induktive Ladung: Es handelt sich ebenfalls um ein „Opportunity“-Ladesystem, welches allerdings aufgrund der im Boden versenkten Ladeinfrastruktur keine Probleme im Stadtbild oder mit Vandalismus verursacht. Allerdings ist die induktive Ladung weniger effektiv und verursacht höhere Verluste als eine Ladung über Kontakt.

Kosten

- Bau:

Es ist offensichtlich, dass die Obus-Fahrleitung mit 1-3 Mio.€/Km incl. Unterwerken die höchsten Aufwendungen für ortsfeste Infrastruktur erfordert, Planungsrisiken nicht eingerechnet. Demgegenüber liegen die Kosten für eine Ladestation im Netz bei 466.000.-€ (Köln). Eine vergleichbare Ausrüstung der Kölner Linie 133 (7 Km) s.u. mit Fahrdraht würde daher mit 14 Mio.-€ beinahe den 10-fachen Betrag für ortsfeste Infrastruktur benötigen wie das Batterieladesystem (3 Ladestationen, 2x Endstation, 1x Betriebshof). Allerdings kann für die bewährten Obus-Komponenten eine Lebensdauer von 40-50 Jahren

unterstellt werden, die Lebensdauer von Ladegeräten für Batteriebusssysteme ist bislang noch nicht bekannt.

- Fahrzeuge:

Die aktuellen Dieselbusse mit Euro 6 – Motoren werden zu Preisen von 350.000, O-Busse sowie Batteriebusse werden zu rd. 700.000.- € angeboten. Für den Solinger IMC-Prototyp sind derzeit 850.000.-€ im Gespräch – für einen Solobus. Brennstoffzellenbusse kommen schließlich aufgrund ihrer aufwendigen Ausstattung auf 1.850.000.-€ (!).³ In diesem Vergleich sind jedoch auch unterschiedliche Fahrzeuglebensdauern sowie Beschaffungskosten für Austauschbatterien zu betrachten: Dieselbusse werden nach Ablauf der Zweckbindungsfrist von 10 Jahren ausgetauscht, bei den WSW wird i.d.R. nach 7 Jahren ein neues Getriebe fällig, so dass die Busse bis zu 15 Jahre eingesetzt werden. Die aktuellen Batteriebusse sollen nur für die Lebensdauer ihrer Batterie, also max. 10 Jahre eingesetzt werden, ein (vorzeitiger) Batterietausch für eine 200 Kw/h-Batterie wäre ist mit derzeit 700-1.500 €/Kw/h⁴ = 140.000-300.000 € anzusetzen. Obusse können hingegen bis zu 25 Jahre ohne Austausch wesentlicher Komponenten eingesetzt werden.

Übertragen auf den WSW-Gelenkbuspark (200 Busse) würden sich daher die reinen Fahrzeug-Beschaffungskosten über 20 Jahre ohne Austauschkomponenten grob wie folgt darstellen:

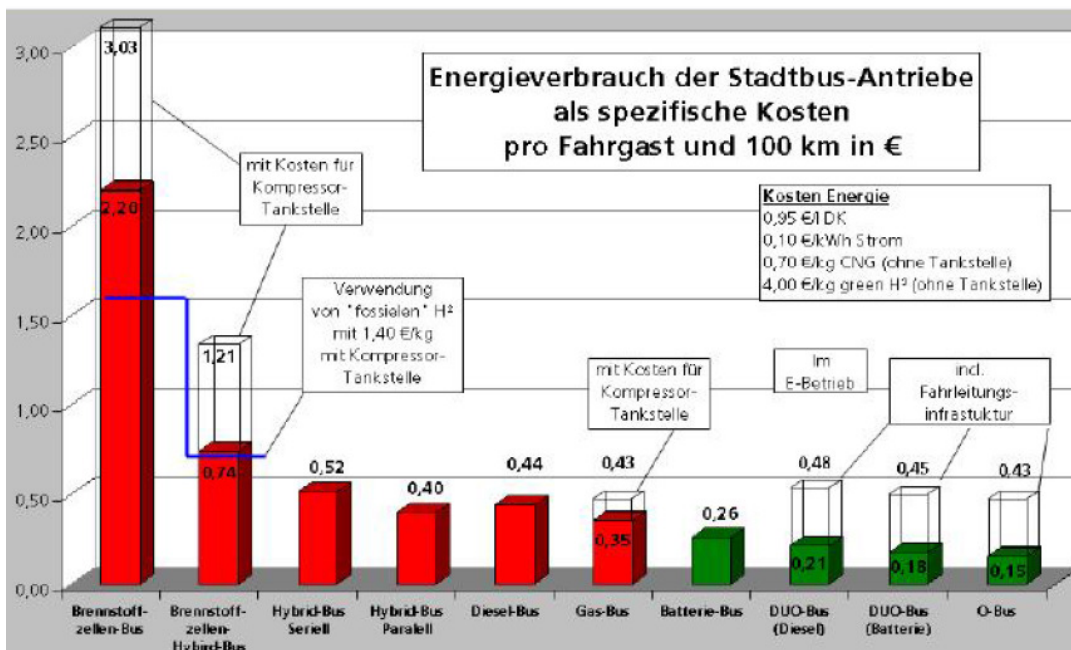
- Dieselbus: 2 Fz.-Generationen = 2 x 200 x 350.000.-€ = 140 Mio.- €
- Batteriebus: 2 Fz.-Generationen = 2 x 200 x 700.000.-€ = 280 Mio.- €
- Obus: 1 Fz.-Generation = 200 x 700.000.-€ = 140 Mio.- €

- Betrieb

Aus der nachfolgenden Tabelle ergibt sich, dass Obusse sowie die übrigen über Fahrleitung fremdversorgten Bussysteme die deutlich geringsten Energiekosten, insbesondere auch im Vergleich zu Aufladesystemen aller Art aufweisen. Auch unter ökologischen Gesichtspunkten dürfte dies, solange noch keine Strom-Überschüsse aus erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen ein entscheidendes Argument bei der Systemauswahl sein. Ein zusätzlicher Kostenfaktor im Vergleich zum Dieselbusbetrieb ist jedoch der laufende Unterhalt der Fahrleitung (Vorhaltung einer Fahrleitungsmeisterei), sowie bei Batteriebussen Unterhalt und Wartung der Ladestationen.

³ Alle Angaben: Steiner-Stephan a.a.O.

⁴ Wie vor.(S.27)



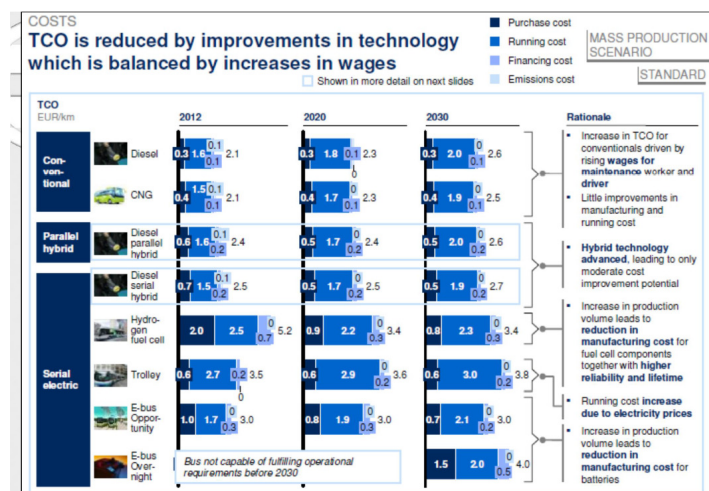
Quelle: Trolley-motion

Zukünftige Kostenentwicklung:

In einer McKinsey-Studie aus 2011 s.u. wurde versucht, die E-Bus-Systeme auf ihre künftige Kostenstruktur unter Einbeziehung der absehbaren technischen Entwicklung darzustellen:

Die maßgebliche Kostensteigerung für alle Systeme resultiert demnach aus steigenden Lohnkosten für Fahr- und Werkstattpersonal, d.h. autonomes Fahren wurde hier nicht betrachtet, wäre aber für alle Systeme denkbar. Für Hybridsysteme wird ein mäßiges, für Batterie- und Brennstoffzellensysteme ein hohes Kostensenkungspotential, verbunden mit einer größeren Dauerhaftigkeit der Komponenten erwartet. Für den Obus als langjährig bewährtem System werden keine Kostensenkungspotentiale erwartet. Die Wirtschaftlichkeit wird von der Entwicklung der Strom und Dieselpreise abhängen.

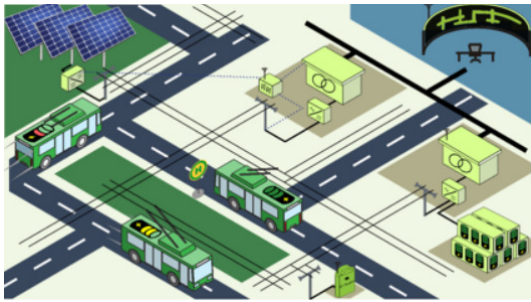
Im Gesamtergebnis würde damit ein Batteriebusssystem auf der Basis „Opportunity“ das künftig kostengünstigste System sein !



Quelle: Studie McKinsey & Company auf Datenbasis 2011



Vorhandene Systeme:



Arnhem/Solingen:

Es handelt sich um die beiden größten Obus-Betriebe, die auch miteinander kooperieren. Solingen Bestand: 50 Gelenk-Obusse, 20 Unterwerke, 24 Weichen. Die Fahrleitungsnetze wurden allerdings seit Jahren nicht mehr erweitert, weil die

Durchsetzbarkeit fraglich schien. Im Rahmen eines durch das BMVI geförderten Forschungsprojekts soll nunmehr die vorhandene Infrastruktur im Sinne eines Smart Grids ertüchtigt werden und zusätzlich auch

Batterie-Oberleitungsbusse (BOB)⁵ zum Einsatz kommen, die auf den elektrifizierten Streckenabschnitten Fahr- und Ladestrom beziehen.

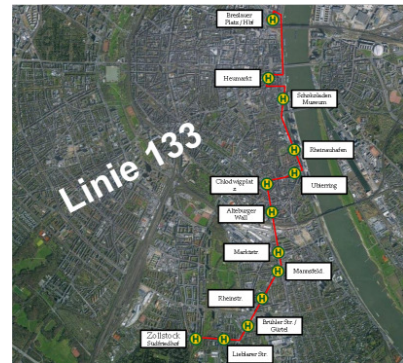
Daten:

Solaris IMC Solobus, Preis 850.000.-€, Option für weitere 17 Fz. Batterie: Leistung 54 Kwh, Preis 100.000.-€, Gewicht: 1.000 Kg, Rekuperation

Verteilung der Linie 695: 2,3 Km Fahrdraht 12 Km ohne, zusätzliche Ladestation an der Endstation Abteiweg

Bewertung:

Die Weiterentwicklung eines bereits vorhandenen Fahrleitungsnetzes ist konsequent. Eine Wirtschaftlichkeit der IMC-Fz. ist zu diesem Kaufpreis im Vergleich zu anderen E-Bussen nur dann gegeben, wenn sie die gleiche Lebensdauer wie Obusse (bis 25 J.) erreichen und Tauschbatterien zu günstigen Preisen zur Verfügung stehen. Die Batterie-Preise hängen von der geforderten Reichweite, d.h. des Streckenanteils ohne Fahrdraht ab. Solingen kommt hier mit 20-25% der Batteriekapazität der Bonner und Oberhausener Modelle aus. Je nach künftiger Preisentwicklung der Busse und auch des Fahrleitungsbaus könnten sich sowohl IMC-Busse größerer Reichweite andererseits durchaus aber auch wieder reine Obuslinien durchsetzen.



Köln:

In Köln wurde die Innenstadtlinie 133 auf E-Bus-Betrieb „Opportunity“ mit Zwischenladung an den Endstationen Hbf und Zollstock Südriedhof (2 Ladestationen) umgestellt.

Daten:

8 Gelenkbusse, VDL, Linienlänge 2 x 7 Km Ladezeit 5 Min., Reichweite bei -20 °C: Mit elektr. Heizung (20 Kw): > 30 Km, ohne 50 Km, Energieverbrauch: ohne Heizung/Kühlung: 1,85 Kwh/Km, mit Klimaanlage: 2,51 Kwh/Km, mit Heizung: 2,96 Kwh/Km,

⁵ <http://www.evt.uni-wuppertal.de/forschung/forschungsgruppe-intelligente-netze-und-systeme/bob-solingen-batterie-oberleitungs-bus.html>

Kosten: Solobus: 500.000.-€, Gelenkbus 700.000.-€, Schnellladestation: 466.000.-€,

Batterie: Ni-Mn-Co mit Flüssigkeitskühlung Kapazität 122 Kwh, Gewicht 1.480 Kg, Preis:130.000.-€. Bei Entladung bis max. 30% Ladezustand wird eine Lebensdauer von 10 Jahren garantiert. Vollständige Aufladung nachts im Betriebshof

Bewertung:

Es handelt sich um ein Vorzeigeprojekt an repräsentativen Stellen im Stadtgebiet, sowie eine bloße Umstellung der Traktionsart, ohne die unzureichenden Betriebsbedingungen (Verspätungsanfälligkeit) verändern zu können. Beschleunigungsmaßnahmen in Köln beschränken sich auf die Stadtbahn. Daher sind häufig die Ladezeiten nicht gewährleistet und die Fz. müssen ausgetauscht werden, was unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten u.E. nicht vertretbar ist. Dennoch ist die Umstellung weiterer Linien mit ähnlichen Betriebsbedingungen vorgesehen.⁶

Bonn:

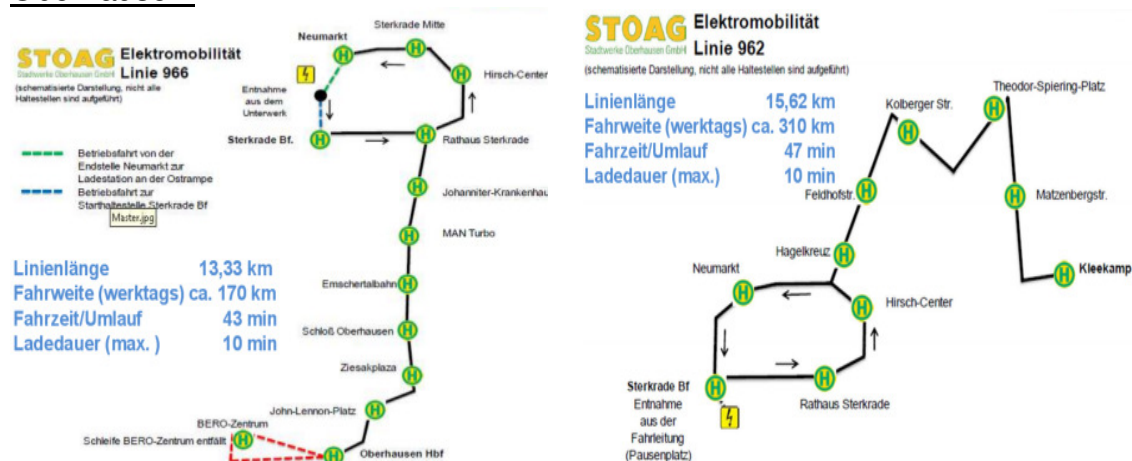
Die Stadtwerke Bonn haben 6 Standard Busse des Herstellers Sileo beschafft, Gelenkbusse in Vorbereitung, Ladung „Overnight“

Daten: Kapazität: 230 Kwh Li-Fe-Phosphat, Reichweite 200 Km, Rekuperation, Spheros-Heizung (fossil),

Bewertung:

Der Einsatz kann freizügig im gesamten Liniennetz erfolgen, weil an den Linienwegen keine Ladeinfrastruktur benötigt wird. Dank Rekuperation können auch Strecken mit bergiger Topographie befahren werden, ohne an die Grenzen der Reichweite zu stoßen. Allerdings ist der Bus in Bonn auch nur ein Nebenbetriebszweig mit geringeren Fahrgastzahlen als der Stadtbahnbetrieb, so dass ggfs. geringere Fahrgastkapazitäten, verursacht durch große Batterien verkraftet werden. Zudem wird dort ebenfalls eine Seilbahn geplant.

Oberhausen:



⁶ http://berg-mark.dvwg.de/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&file=uploads%2Fmedia%2F160121_Vortrag_Schwarze.pdf&t=1495883922&hash=8980ed2f63dbfeafc2a36525c02b0b396593d57

Oberhausen testet 2 Batteriebusse Solaris auf zwei im Stundentakt verkehrenden Nebenlinien. Erprobt wird die Entnahme von Ladestrom direkt aus der Straßenbahnfahrleitung und aus einem Unterwerk.

Daten:

Batteriespeicher 200 Kwh, 5 Module, erweiterbar, Garantie 5 Jahre, Ladegerät-Leistung: 220 Kw Linienlängen 13 u. 15 Km, 10 Min. Ladezeit⁷

Bewertung:

Mit einer Obus- / IMC-Fahrleitung auf der ÖPNV-Trasse (10 Km) könnte die StOAG nahezu ihr komplettes Netz elektrisch betreiben. Die Umbaukosten waren jedoch zu hoch, so dass es bei dem eher kleinen Pilotprojekt mit 2 Fz. bleibt

Eindhoven:

Eindhoven setzt ein ähnliches Bus-Modell ein wie Köln, setzt aber von vornherein auf eine weitgehende Umstellung des Busnetzes, welches hier den Hauptverkehrsträger darstellt. Zugleich erfolgt ein umfassender Neu- und Ausbau des Busspurennetzes

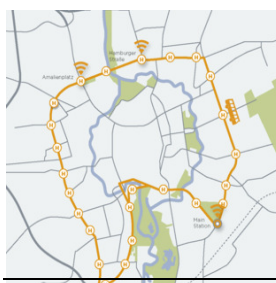


Daten:

43 Gelenkbusse VDL, Batteriespeicher 180 Kwh, 9 Module Li-Ni-Mn-Co-Oxid, Verbrauch 1,7Kwh/Km, => 75 Km Fahrstrecke bis zum Nachladen (4 Umläufe) Garantierte Lebensdauer: 5 Jahre bei Entladung bis max. 30%, Ladeinfrastruktur 42 x 50 Kw, davon 20 Schnelllader 270 Kw: (Kombination „Opportunity“ und „Overnight“) Kosten 6 Mio.-€, Webasto-Heizung

Bewertung:

Die Kombination aus umfassender Elektrifizierung und Ausbau des Busspurennetzes ist ein mutiger und konsequenter Ansatz, der die Unzulänglichkeiten der Kölner Linien vermeidet. Die aufwendige Fahrzeug-Infrastruktur kommt bei nur bei einem derart beschleunigten und komfortablen Betriebsablauf wirklich zur Geltung.



Bus line M19	12 km
Journey time	39 minutes
Journey time in %	80 %
Headway	10 minutes (weekday) 15 minutes (weekend)
Charging stations	2
Charging time	30 seconds
End stops	2
Charging time	up to 11 minutes
Depot	1
Charging time	up to 15 minutes
Bus stops (total)	26
Number of e-buses	5
12-metre	1
18-metre	4

Braunschweig:

Braunschweig testet das von Bombardier angebotene Komplettsystem „Primove“ mit induktiver Ladung an den End- sowie 2 Zwischenstationen

Daten:

⁷ http://rhein-ruhr-westfalen.dvwg.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=uploads%2Fmedia%2F160223_Nutzung_von_Strassenbahn-Infrastrukturen_zur_Ladung_von_Batteriebusen_DVWG.pdf&t=1495884447&hash=5ce4513131840f77747dc148f2f5ff742dcb4b38

12 m- Bus Solaris electric: Batterie Li-Ion, 60 Kwh, 18 m- Bus Solaris electric: 90 Kwh

Induktive Schnellladung mit 200 Kw, Ladezeiten 15 Min. im Betriebshof, 11 Min. an Endstationen, 30 Sek an 2 Zwischenstationen

Bewertung:

Der vergleichsweise hohe Ladeverlust steht einem wirtschaftlichen Einsatz des Systems vermutlich entgegen, die kurzen Zwischenladezeiten relativieren sich durch die Notwendigkeit, das Induktionsfeld exakt, d.h. mit geringer Geschwindigkeit anzufahren.

RVK Köln:

4 Brennstoffzellen-Busse, Leistung 120 Kw, Batterie 95 Kw, Motor: 2x 85 Kw, Wasserstoff aus nahegelegtem Chemiewerk

Fazit:

Die McKinsey-Bewertung, dass ein „Opportunity“- Batteriebusssystem das künftig kostengünstigste E-Bus-System werden könnte, kann für die Wuppertaler Verkehrsverhältnisse keinesfalls nachvollzogen werden, so lange Reisegeschwindigkeit und Pünktlichkeit nicht so deutlich verbessert werden, dass die Ladestationen rechtzeitig erreicht und auf Reservefahrzeuge verzichtet werden kann. Nur eine Weiterentwicklung des Systems mit eigener Straßeninfrastruktur wie in Eindhoven lässt einen verlässlichen Betrieb im Stadtverkehr zu, ansonsten wird der Einsatz wie in Bonn, Braunschweig oder Oberhausen auf Nebenlinien beschränkt bleiben. Fortschritte und Kostensenkungspotentiale in der Batterie- oder gar Brennstoffzellentechnik werden sich im Wuppertaler Verkehrsgebiet nur mit Verzögerung und mit reduziertem Erfolg einstellen! Eine „Overnight“-Ladung mit „langsamen“ 50 Kw erfordert für die aktuell 285 WSW-Busse die Installation einer Ladekapazität von ca. 1,5 MW, wozu erhebliche Eingriffe in das Stromversorgungsnetz mit nicht kalkulierbarem Umfang erforderlich würden.

Der Obus hat hingegen seine Betriebstauglichkeit im Bergischen Land deutlich nachgewiesen. Für die Einführung in Wuppertal wird man sicherlich mit den SWS kooperieren und Synergieeffekte nutzen können. Die Weiterentwicklung IMC ermöglicht einen schrittweisen Aufbau des Systems mit zunächst kürzeren, nicht notwendigerweise zusammenhängenden Fahrdrabtabschnitten. Aufgrund der bislang nicht nachgewiesenen Langzeittauglichkeit von reinen Batteriesystemen in dem anspruchsvollen Wuppertaler Verkehrsgebiet lautet die

deutliche Systemempfehlung: Obus / IMC-Bus.

Dessen kostenseitigen Nachteile durch Bau und Unterhalt der Fahrleitung werden durch die Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit der bewährten Systemkomponenten ausgeglichen.

Gestaltung einer Obus-Fahrleitung:

Obus-Fahrleitungsanlagen erfordern ein Planfeststellungsverfahren nach §§ 41, 28 ff PBefG und sind damit einem höheren Verfahrensrisiko ausgesetzt. Aus diesem Grund verzichten auch die Stadtwerke Solingen derzeit auf einen weiteren Ausbau. Dagegen halten wir solche Anlagen im Sinne des Ausbaus der Elektromobilität unter Beachtung folgender Grundsätze für gerechtfertigt und durchsetzbar:

- Die Zweipoligkeit der Obus-Fahrleitung erfordert zunächst höhere Zugspannungen und damit eine robustere Auslegung im Vergleich zur Straßenbahn-Variante.
- Für besondere städtebauliche Situationen wird häufig ein Verzicht auf Fahrleitungen gefordert. Auf den für Wuppertal in Frage kommenden Strecken (s.u.) sind aber solche Ausschlussgründe nicht ersichtlich.
- Die allermeisten Abschnitte des vorgeschlagenen Netzes wurden früher von Straßenbahnen bzw. Obussen befahren und waren daher zeitweise mit solchen Anlagen ausgestattet.
- Städtebauliche Konflikte auf dem Wall werden vermieden, wenn der Busverkehr in beiden Richtungen auf die Morianstraße verlegt wird, Busspuren erforderlich. Diese Verlegung dient zugleich der Beschleunigung.
- Mehrstreifige Hauptverkehrsstraßen sind meist so deutlich von ihrer Verkehrsfunktion geprägt, dass eine zusätzliche Fahrleitungsanlage nicht ins Gewicht fällt.
- Straßenbäume können meistens stehen bleiben, es genügt, das Fahrleitungsprofil freizuschneiden.
- Vor geschlossener Bebauung sollte die Fahrleitung möglichst mit Wandankern an den Häusern befestigt werden (Erwerb von Dienstbarkeiten erforderlich).
- Fahrleitungsmaste sind so anzuordnen, dass sie die benachbarte Bebauung möglichst wenig beeinträchtigen (Sichtbeziehung, Lichteinfall, Proportionen: keine Masten vor kleinen Häusern!)

Wie könnte ein solches Netz in Wuppertal eingeführt werden?

Umfang und zeitliche Reihenfolge hängen hier wesentlich davon ab, wie das künftige Busnetz beschaffen sein wird. Neben einem im wesentlichen Beibehalt des Bestandsnetzes steht auch eine Konzentration des Angebotes auf ein sog. Hauptliniennetz und Bedienung der Fläche mit „alternativen Bedienungsformen“ zur Diskussion.

Eine Beibehaltung des derzeitigen Netzes würde eine Umstellung aller Fahrzeuge auf IMC-Busse entsprechend dem derzeitigen Bestand mit Mehrkosten von etwa 400.000.-€ bedeuten: Aktuell (Stand 2013) verfügen die WSW über 185 Gelenk- und 100 Standardbusse, der Aufwand für Treibstoffe liegt bei etwa 10 Mio.-€. Der Beschaffungs-Mehraufwand für die gesamte Busflotte läge bei 114 Mio.-€, was bei einer über 15 Jahre verteilten Neubeschaffung noch 7,6 Mio.-€ Mehraufwand pro Jahr ergibt. Hierbei muss noch einmal betont werden, dass dieser bloße Wechsel der Antriebsart keinerlei Verbesserung der wirtschaftlichen Situation der WSW insb. keine zusätzliche Fahrgastnachfrage bewirkt, so lange nicht auch wirksame Maßnahmen zur Verbesserung der Bedienungsqualität (s.o.) getroffen werden.

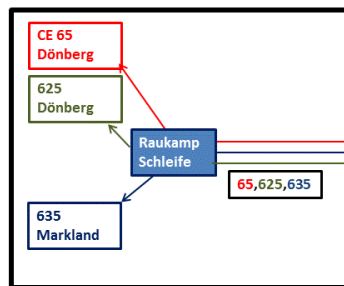
Versuch der Definition eines Hauptliniennetzes

Netzarchitektur: Komplettumstellung auf E-Bus ⇔ Hauptliniennetz

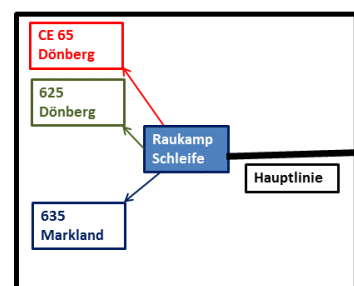
Der in den städtischen Planungen angedachte Begriff „Hauptliniennetz“ ist bislang in der Planungsliteratur unbekannt. In Wuppertal wurde der Begriff hergeleitet aus den Bemühungen um Einsparungen im ÖPNV. Gemeint ist die Beschränkung des Linienverkehrsangebotes auf wenige nachfragestarke Relationen unter Aufgabe der

Flächenerschließung. Für die nicht mehr im Linienverkehr bedienten Gebiete sollen alternative Angebote entwickelt werden, wobei auch hier die Wahl eines geeigneten Systems offen ist. Diese Systemtrennung wird in der aktuellen verkehrswissenschaftlichen Diskussion für den (wahrscheinlichen) Fall

Bisherige Bedienungsform:
Linienbündel überlagernd



Künftige Bedienungsform:
Hauptlinie



empfohlen, dass künftig autonome (Klein-) Fahrzeuge zur Verfügung stehen, die einen Teil des bisherigen ÖV-Angebotes übernehmen bzw. in anderer Bedienungsform ersetzen können.⁸

Aus Fahrgast­sicht kann eine derartige Angebotskonzeption akzeptiert werden, wenn trotz zusätzlicher Umsteigevorgänge hier eine vergleichbare Reisezeit und auch sonstige Bedienungsqualität erreicht wird. Hierzu wären z.B. nachfolgend genannten Bedingungen zu erfüllen.

1. Hauptverkehrsmittel:
 - a. Hohe Verlässlichkeit und Reisegeschwindigkeit
 - b. Dies wird erreicht durch:
 - i. Vermeidung von Behinderungen, effektive Signalanforderung, Busspuren, Zuflussbegrenzung für den IV
 - ii. Angepasste Haltestellenformen:
 - kein „Wiedereinfädeln“ aus „Busbuchten“,
 - Komfortabler Umstieg, Überdachung, Beleuchtung, Kiosk
 - iii. Beschleunigter Fahrgastwechsel, Fahrausweiskontrollen elektronisch, nicht mehr durch den Fahrer
 - c. Dichter Takt (möglichst ≤ 10 Min.) auch in der NVZ!
 - d. Weitere Steigerung des Modal-Split-Anteils durch Taktverdichtungen und andere Maßnahmen einplanen!⁹

Soll eine Linie über den Endpunkt des Hauptnetzes hinausführen und eine umsteigefreie Verbindung beibehalten werden (z.B. Raukamp-Dönberg oder Cronenberg-Sudberg), sind die o.g. Maßnahmen möglichst auch auf dem Verlängerungsabschnitt umzusetzen.

2. Alternative Bedienungsform:
 - a. Deutliche Kostensenkung im Vergleich zum Linienbus => vsl. fahrerlose Kleinbusse
 - b. Abgestimmte Umsteigeverbindungen zur Hauptlinie
 - c. Alternativ auch Direktfahrten in die Innenstadt
 - d. Wahlweise Rufsystem oder fester Linienweg
 - e. Unterschiedliche Fahrzeuggrößen
 - f. Bedienung bis vor die Haustür als Ausgleich für Umsteigewartezeiten

3. Privatfahrzeuge: P+R, B+R, Fahrradmitnahme

⁸ Kossack: „Autonome Autos und öffentlicher Nahverkehr-Zukunft realistisch einordnen“, IV 2/2017, S.68 ff

⁹ Einen vergleichbaren Maßnahmenkatalog schlägt auch auch Kossack, a.a.O., S.70 vor.

Aus Betreibersicht bietet ein derartiges Hauptliniennetz zum einen den Vorteil, Fahrzeuggrößen und Taktung auf den Außenästen frei wählen zu können, und auf dem Hauptnetz durch hohe Reisegeschwindigkeiten ebenfalls Kosten einzusparen. Auf der anderen Seite muss der Betrieb dann eine größere Zahl unterschiedlicher Fahrzeugtypen zu Lasten einer Kostenersparnis durch Standardisierung vorhalten.

Unter der Annahme, dass autonome fahrerlose Fahrzeuge die uneingeschränkte Zulassung im Straßenverkehr künftig erhalten werden, zeichnen sich für das Anschlussnetz zum Hauptnetz folgende Bedienungsformen im gewerblichen / öffentlichen Personenverkehr ab:



Bedienung	Fahrzeug	Betreiber	Konzession	Tarif
(Anschluss-) Linienverkehr, Halt nur an Haltestellen	Bus / Kleinbus	WSW	§ 42 PBefG	VRR-Tarif / öff. Zuschuss
(Anschluss-) Taxi / Bus, Bedienung von/bis Haltestelle des Hauptnetzes zur Haustür, Fahrplan	Kleinbus / Pkw	WSW Taxi-/ Mietwagenunternehmen	§ 42 PBefG	VRR-Tarif / öff. Zuschuss
Taxibedienung: Haustür zu Haustür	Pkw	Taxi-/ Mietwagenunternehmen, neue Anbieter (Uber)	§ 47 PBefG	Taxitarif
Fahrtvermittlung freie private Pkw: Haustür zu Haustür	Pkw	Privateigentümer, Unternehmen mit freien Dienstwagenkapazitäten	§ 47 PBefG: wohl erforderlich, Kontingentierung	Taxitarif, kein Preisdumping!

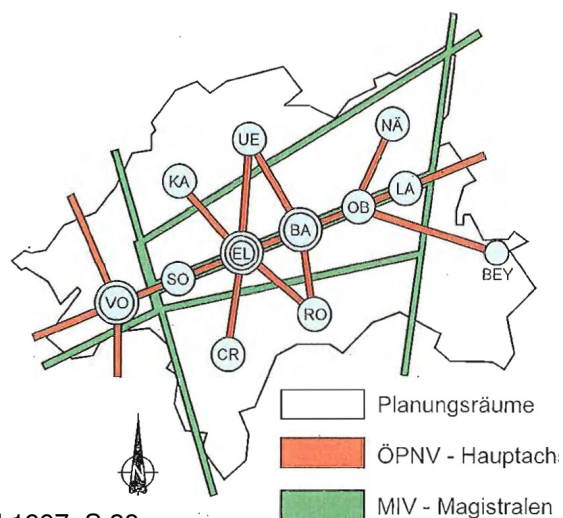


Durch den fahrerlosen Betrieb entfällt mit den Fahrerlöhnen ein wesentlicher Kostenfaktor, so dass alle genannten Bedienungsformen mit geringeren ggfs. sogar völlig ohne öffentliche Zuschüsse auskommen können. Wenn auch auf dem Hauptnetz autonome Selbstfahrer zum Einsatz kommen, wird die künftige Kostenbelastung der kommunalen Haushalte durch ÖPNV insgesamt erheblich reduziert werden.

Welche Relationen gehören zum Hauptliniennetz?

In den für die Stadt erarbeiteten Plänen, z.B. auch in dem noch gültigen Nahverkehrsplan¹⁰

findet sich entsprechend der zentralörtlichen Gliederung der Stadt ein Netz von Verkehrs- und Entwicklungsachsen welches die Zentren untereinander verbindet. Im WSW-Verkehrsnetz zeichnen sich diese Achsen dementsprechend schon jetzt durch eine dichte Bedienung durch mindestens 2 Linien = 10-Min.-Takt aus. Hierbei besteht jedoch folgende (Wuppertaler) Besonderheit.



¹⁰ 1. Kommunalen Nahverkehrsplan der Stadt Wuppertal 1997, S.28

Auf den steilsten Streckenabschnitten, die sich für eine Elektrifizierung am ehesten anbieten, bestehen abschnittsweise alternative Linienführungen (Südstadt Elberfeld, Barmer Anlagen), die jeweils nur im Grundtakt (20 Min.) bedient werden. Hier ist zu entscheiden, wahlweise dennoch alle Streckenverzweigungen zu elektrifizieren, oder nur einen Ast zur Hauptlinie aufzuwerten und die übrigen Äste durch alternative Formen zu bedienen.

Dazu bestehen auch Streckenabschnitte, z.B. Talachse, Heckinghauser Straße, die relativ eben verlaufen, aber durch ihre dichte Belegung in jedem Fall zum Hauptnetz gehören. Ihre Elektrifizierung wird dann auch von der Batterie-Reichweite des gewählten Bustyps abhängen. Zusätzlich gehört auch das Wichlinghauser „2`er-Netz zum Hauptnetz.

Es handelt sich demnach um folgende Relationen:

Uellendahl-Hbf:	5 Km
Uellendahl-Barmen:	3 Km
Hbf-Hahnerberg-Cronenberg:	6 Km
Hbf- Eckbusch:	5 Km
Hbf- Wichlinghauser Markt –Weiherstraße:	8 Km
Talachse Oberbarmen- Rob-Daum-Pl:	8 Km
Wupperfeld – Lichtscheid:	4 Km
Hbf-Lichtscheid:	5 Km
Oberbarmen- Nächstebreck:	4 Km
Oberbarmen-Langerfeld-Dieselstraße:	4 Km
Lichtscheid- Ronsdorf:	3 Km.
Alter Markt – Lenneper Str.	3 Km

(vorhandene Li. 683, Vohwinkel Bf.-Solingen)

Für diese rd. 60 Km Linienlänge werden bei einer mittleren Reisegeschwindigkeit von 20 Km/h und einem 10-Minuten-Takt rd. 40 Busse benötigt, bei weiterer Verdichtung auf 7,5 oder 5-Min.-Takt ergibt sich ein Bedarf von 60 bzw. 80 Bussen. Unterstellt man den günstigeren Preis des reinen O-Busses von 700.000.-€ ergeben sich Fahrzeugkosten von 28.- Mio.€. Hinzu kommt das Fahrleitungsnetz zu einem Preis von 60 km x 2 Mio.-€ = 120.- Mio.€. Verteilt auf eine Umstellungszeit von ebenfalls 15 Jahren ergibt sich eine jährliche Belastung von 9,8 Mio.-€. Hiervon abzuziehen sind jedoch die Beschaffungskosten für Dieselfahrzeuge (300.000.-€ x 40 / 15 Jahre) = 800.000.-€ sowie eine Energiekostensparnis von 5 Mio.-€ (50% der Dieseldkosten).

Die jährliche Mehrbelastung für die Umstellung eines „Hauptnetzes“ läge somit bei rd. 4 Mio.-€.

Darüber hinaus ist zu entscheiden, in welchem Umfang eine Streckenelektrifizierung vorgenommen werden soll: Je weitere Strecken unter Fahrdraht gefahren werden können, um so kleinere und günstigere Batterien können zum Einsatz kommen, so dass die Fahrzeugkosten wiederum sinken. Hier ein wirtschaftliches Optimum zu finden wäre wohl Gegenstand einer vertieften Untersuchung.

Beispiel:

Linienlänge: 20 Km, Umlaufzeit: 2 Stunden, 10- Min.-Takt, Nutzungszeit: 50 Jahre
=> Bedarf: 2 Fahrzeuggenerationen, 2x12 Fahrzeuge,

zur Auswahl:

IMC-Bus, 5 Km Fahrleitung oder reiner Obus, 10 Km Fahrleitung.

Obus:

2x12 Fz. zu 700.000.-€ = 16,8 Mio.-€ + 10 Km Fahrleitung zu 2 Mio.-€ = 20 Mio.-€,
Gesamt: **36,8 Mio.-€**

IMC- Bus:

2x12 Fz. zu 900.000.- € = 21,6 Mio.-€ + (ca.) 5 Km Fahrleitung zu 2 Mio.-€ = 10 Mio.-
€ + 2 x 2 Tauschbatterien pro Fz. zu 200.000.-€ = 4,8 Mio.-€
Gesamt: **36,4 Mio.-€.**

Nach diesem zufälligen Beispiel liegen die Langzeit- Infrastrukturkosten für beide Systeme offenbar dicht beieinander. Wesentliche Verschiebungen können sich durch künftige Fortschritte bei der Batterie- und Ladetechnik zugunsten der IMC-Variante ergeben, so dass der aktuelle Kostenvorteil des reinen Obusses beim Energieverbrauch kompensiert würde. Der aktuelle Stand der Technik spricht also derzeit eher für ein längeres Fahrleitungsnetz, was sich aber zu einem späteren Entscheidungszeitpunkt vsl. ändern wird. Möglicherweise wird die Systemauswahl auch nicht einheitlich getroffen werden, sondern von den örtlichen Gegebenheiten auf den einzelnen Linien abhängen. So wird bei einem steilen Streckenverlauf die Entscheidung eher zugunsten der Fahrleitung ausfallen wenn hierdurch Batterien geschont werden. Auch sind Batterien unterschiedlicher Kapazität entsprechend den Anteilen der Strecken ohne Fahrdraht denkbar.

Zusammenfassung:

Eine flächenhafte Umstellung des bestehenden Busnetzes ist aufwendig und bietet Betreibern und Nutzern keinerlei Vorteile, so lange die ungünstigen Betriebsbedingungen nicht umfassend verbessert werden. Es ist zunächst eine Liniennetzreform mit einer deutlichen Unterteilung in ein Haupt- und Nebenetz anzustreben, wobei anschließend das Hauptnetz in einem Umfang von etwa 60 Km elektrisch zu betreiben wäre. Aufgrund der nachgewiesenen Tauglichkeit im Bergischen Land wird die Kombination aus Obus und neuem IMC-Konzept empfohlen. Die aus der Umstellung resultierenden Mehrkosten sind nur zu vertreten, wenn die Stadt an einem erforderlichen Bundes-/ Landesprogramm zur Förderung der Elektromobilität im ÖPNV teilnehmen kann. Für das Nebenetz ist bei Einsatz autonomer Fahrzeuge kein nennenswerter öffentlicher Zuschussbedarf mehr erforderlich. Nicht zuletzt im Hinblick auf die Seilbahn-Diskussion wird erwartet, dass die Bedeutung der von den umstrittenen Taktausdünnungen betroffenen Buslinien deutlich abnimmt und mit den neuen alternativen Bedienungsformen ein im Vergleich zum heutigen Zustand attraktiveres ÖPNV-Angebot geschaffen werden kann. In einem letzten Schritt des fahrerlosen Betriebes wäre es schließlich denkbar, auch die Hauptlinien künftig fahrerlos zu betreiben, wenn das Automatisierungs- „Level 4“ - streckenbezogener vollautomatischer Betrieb – erreicht und allgemein im Straßenverkehr und zusätzlich auch im ÖPNV zugelassen wird.