

Der O-Bus – ein Buskonzept mit Zukunft

Reinhart Kühne ^{a1}, Ralf Haase ^{b2}

^a DLR - Verkehrsstudien

Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin, Deutschland

^b Friedrich List Forum e.V.

Schelsberg 4, 01108 Dresden, Deutschland

Kurzfassung:

Der O-Bus von heute entspricht dank innovativer Antriebs- und Karosseriekonzepte nur noch vom Prinzip dem früherer Jahre. Bremsenenergieerückgewinnung und Energiespeicherung in modernsten Superkondensatoren machen den O-Bus zu einem einzigartigen Verkehrsmittel. Zudem besitzt Deutschland selbst in diesem Wirtschaftssektor eine leistungsfähige Industrie. Der Beitrag berichtet von technischen und organisatorischen Neuerungen dieses besonders umweltfreundlichen Nahverkehrssystems. Lokal emissionsfrei durch elektrischen Antrieb, extrem geräuscharm, sanft und doch kraftvoll beim Anfahren und Bremsen. Der O-Bus ist einfach und kostengünstig in die vorhandene Infrastruktur zu integrieren. Er ist umweltverträglich, kundenfreundlich sowie stadtkonform und arbeitet mit hoher Wirtschaftlichkeit. Insgesamt stellt das System O-Bus eine umweltgerechte Zukunftstechnologie dar.

Es wird erläutert wo sich aus verkehrsplanerischer Sicht O-Busse einsetzen lassen. Der Beitrag beleuchtet Beispiele aus dem In- und Ausland und gibt Einblicke in die technischen Entwicklungen von elektrischen Fahrzeugausstattungen, von Fahrleitungen mit Schnellfahreigenschaften sowie dem Einsatz von Hybridantrieb. Die Entwicklung wird in den Kontext postfossiler Fahrzeugkonzepte als Langzeitperspektive gestellt.

Schlagworte:

O-Bus, Feinstaub, Verkehrslärm, postfossile Verkehrssysteme, moderne Nahverkehrssysteme

¹ Korrespondierender Autor: E-Mail: reinhart.kuehne@dlr.de; URL: <http://www.dlr.de/vs>

² E-Mail: dr.ralfhaase@t-online.de

1 Einleitung

Im Gegensatz zu anderen europäischen Staaten sowie zu Metropolregionen in Asien, USA und Lateinamerika ist der O-Bus in Deutschland zu Unrecht nahezu gänzlich aus den Betrachtungen der Entscheidungsträger verschwunden. In Zeiten knapper Kassen und verstärkter Umweltdiskussion sollte es gelingen, dieses zukunftssträchtige Verkehrssystem wieder entsprechend zu positionieren.

Die Einrichtung „Verkehrsstudien“ des deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt hat vor diesem Hintergrund eine Fachtagung am 10. und 11. Mai d.J. in Solingen veranstaltet, um durch Auswertung von Erfahrungsberichten den Stand der Technik zu beschreiben und das Innovationspotential moderner Elektrobuskonzepte auszuloten. Eine wichtige Rolle spielten bei der Fachtagung auch Fragen der Wirtschaftlichkeit. Es zeigte sich, dass der O-Bus gegenüber dem Dieselbus aber auch gegenüber der Straßenbahn bedeutende wirtschaftliche Vorteile schafft. Die derzeit noch hohen Preise für Elektrobus-Neufahrzeuge können bei besserer Verbreitung durch höhere Stückzahlen bedeutend sinken. Auf der Tagung wurde festgestellt, dass eine Reihe von Groß- und vor allem Mittelstädten in Deutschland seit längerer Zeit die Neuanlage bzw. die Erweiterung von Stadtbahnen planen, aber ihre Finanzierung nicht sichern können. Hier ist der O-Bus die wesentlich kostengünstigere Alternative.

Im folgenden Beitrag sollen wesentliche Ergebnisse der Tagung zusammengetragen und Perspektiven für einen modernen O-Bus Betrieb aufgezeigt werden. Technische Neuerungen, die Einordnung in geeignete Nahverkehrskonzepte sowie Umwelt- und Wirtschaftlichkeitsfragen werden dabei ebenso behandelt wie Handlungsempfehlungen im Rahmen einer integrierten Stadt- und Verkehrsplanung.

2 Technische Neuerungen

2.1 Energiespeicherung mit Superkondensatoren

Für den stromsparenden und damit fahrleitungsschonenden Betrieb müssen Energiespeicher im Bus vorgehalten werden, die schnell Bremsenergie aus den für Bremsenergie rückgewinnung ausgelegten Fahrmotoren aufnehmen können und wenn nötig - etwa beim Anfahren, Beschleunigen und bei der Bergfahrt – schnell an das Antriebssystem abgeben können. Für solche Speicher ist also nicht nur die Energiedichte ausschlaggebend (gemessen in Energie/Masse bzw. Wh/kg) sondern auch die Energie die pro Zeiteinheit zur Verfügung gestellt werden kann, da Energiespeicherung und Kraftverstärkung kurzfristig anfallen (gemessen in Energie/ Masse/ Zeit d.h. Leistung/ Masse bzw. W/kg). Abb. 1 zeigt eine Einordnung der verschiedenen Speichermedien in ein Energiedichte-Leistungsdichte-Diagramm. Die Superkondensatoren spielen dabei eine ausgezeichnete Rolle sowohl hinsichtlich Energiedichte als auch Leistungsdichte.

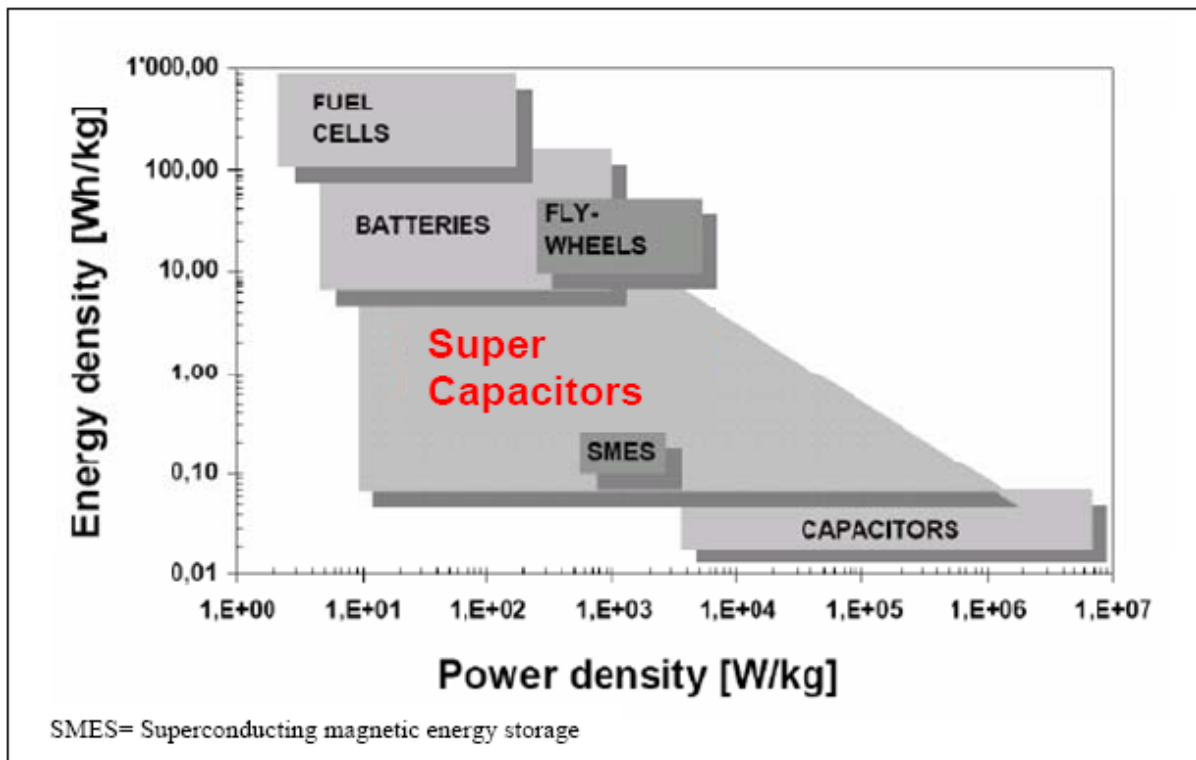


Abb1: Energiedichte-Leistungsdichte-Diagramm für verschiedene elektrische Speichermedien [9]

Zum Einsatz in O-Bus-Systemen wurde ein Feldversuch auf der Basis prismatischer seriengeschalteter Superkondensatoren (vgl. Abb.2) für 2 Optimierungsmodi durchgeführt.

- Modus 1 Ausgleich von Lastspitzen
- Modus 2 maximale Nutzung des Energiespeichers



Abb. 2 Prismatische, seriengeschaltete Superkondensatoren aus dem Solinger Feldversuch. Technische Daten des Energiespeichers; Kondensatoren: 288 (in Serie); Kapazität: 2600 F/Kond; Nutzbare Energie: 500 Wh; Leistung: 270 kW; Maße: 3000*840*380 mm; Gewicht: 352 kg; Spannung: 300V bis 700V; Gesamtkapazität: 9,1F [12]

Für den Modus 1 - Ausgleich von Lastspitzen – zeigt Abb.3 die wesentlichen Ergebnisse. Man erkennt für das untersuchte Geschwindigkeitsprofil, dass während der Anfahrphase die Stromentnahme aus dem Superkondensator bis auf 200 A ansteigt. (Kurvenverlauf – IDSK (Strom-Superkondensator)) der Netzstrom bis auf 100 A begrenzt bleibt und beim Abbremsen der in den Energiespeicher zurückgeführte Strom rasch bis auf (-)200 A ansteigt ohne Netzbelastung bzw. mit einem Netzurückführungsstrom von maximal 50 A (Kurvenverlauf – IN (Strom-Netz)).

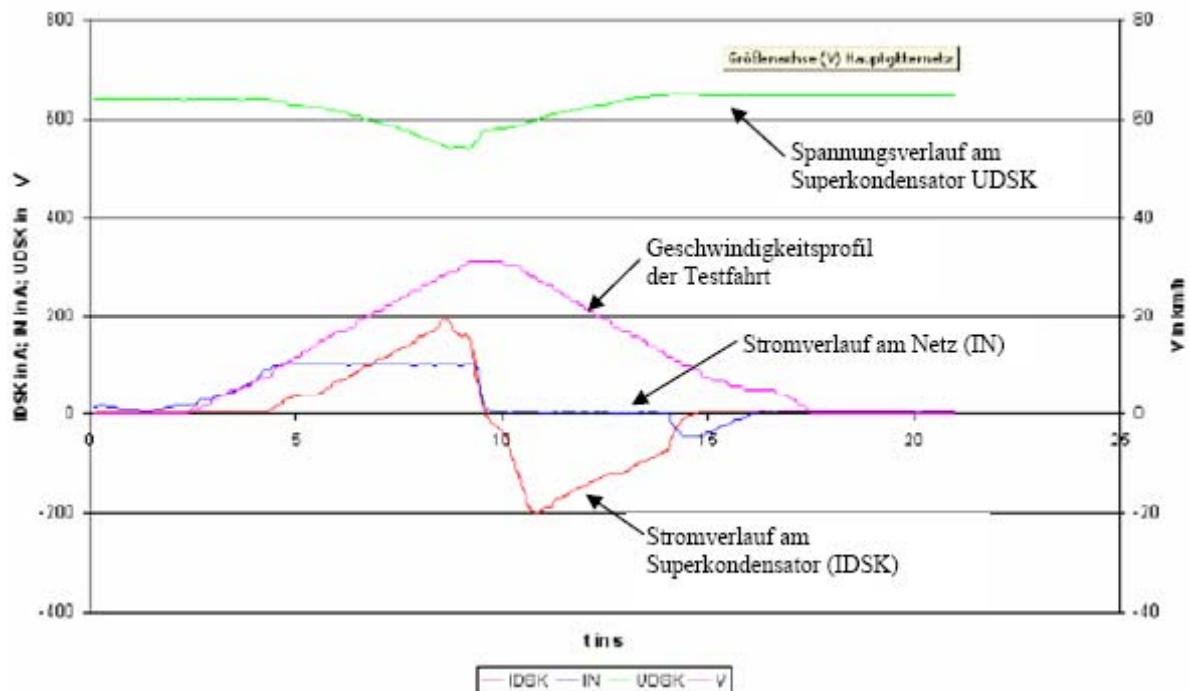


Abb.3: Messung von Strom und Spannungsverläufen am Superkondensator und am Netz für ein vorgegebenes Geschwindigkeitsprofil für eine Testfahrt mit dem Superkondensator aus Abb. 2 für den O-Bus Betrieb in Solingen [9]

Die in diesem Feldversuch verwendeten Superkondensatoren sind als handelsübliche Serienschaltung auf eine aufwendige Balancierung der in Serie angeordneten Kondensatoren angewiesen. Diese muss eine Überlastung einzelner nicht ganz baugleich ausgefallener Kondensatoren ausgleichen muss. Beim Versagen dieser Balancierung kann es zum Abbrennen des schwächer ausfallenden Elements kommen und zur Freisetzung schädlicher Brennrückstände.

Der große Vorteil des Einsatzes von Superkondensatoren

- Bereitstellung der Bremsenergie für den nächsten Beschleunigungsvorgang,
- Energieeinspeisung durch Kombination von Bremsenergierückgewinnung (nur bei Elektrotraktion möglich) und Energiespeicherung bis zu 35%
- Strombegrenzung für das Leitungsnetz auf 100 A

wird so in Frage gestellt. Hier bietet der gestapelte Superkondensator auf der Basis von KOH als wässrigem Elektrolyt (vgl. Abb. 4) eine mittlerweile verfügbare unschädliche Alternative und eröffnet der kurzfristigen Energiespeicherung eine glänzende Perspektive.

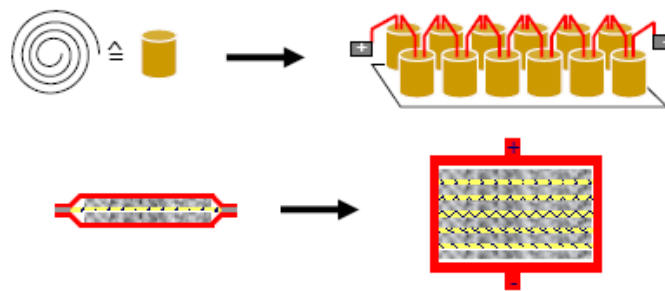


Abb. 4: Prismatischer und gestapelter Superkondensator als Einzelzelle und als Hochvoltkonstruktion (schematisch); Anordnung prismatischer Superkondensatoren schließt Serienschaltung und Balancierung ein (oben) während der gestapelte Kondensator in Verbindung mit KaOH als ungefährliche Kompaktanordnung möglich ist [11]

Die Ergebnisse des Feldversuchs zum Einsatz von Superkondensatoren als Energiespeicher für die beiden Fahrmodi (Modus 1: Ausgleich von Lastspitzen; Modus 2: maximale Nutzung des Energiespeichers) für den O-Bus Betrieb sind in Abb. 5 zusammengefasst.

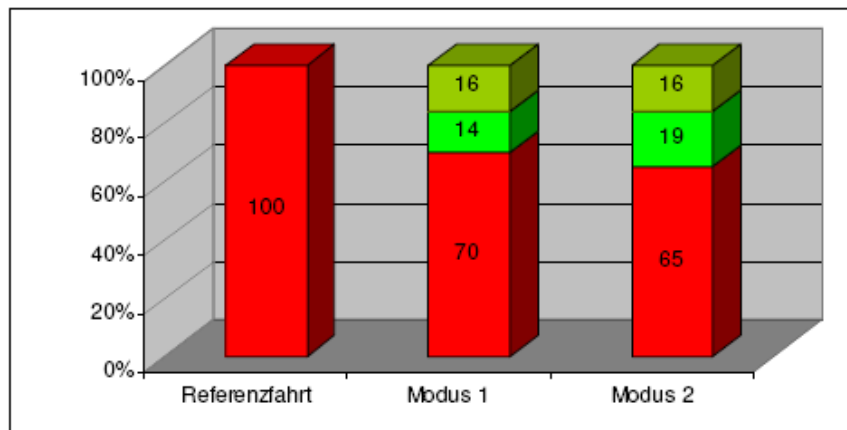


Abb. 5: Zusammenfassung der Ergebnisse des Feldversuchs zum Einsatz von Energiespeichern im O-Bus Betrieb (Modus 1: Ausgleich von Lastspitzen; Modus 2: maximale Nutzung des Energiespeichers) [9]

2.2 Innovationen bei Weichen und Fahrdrabt

Immer wieder wird von Stadtgestaltern der hässliche Fahrdrabt mit seinen Aufhänge-seilen, Weichen und Kreuzungen als Argument gegen den O-Bus ins Feld geführt. Aber gerade beim Fahrleitungsbau haben sich mit eleganten Aufhängungen, wartungsfreundlichen Weichen und entgleisungssicheren Fahrleitungselementen viele Innovationen herausgebildet, die auch hier zeigen, dass der O-Bus einem Modernisierungsschub unterliegt.

Abb. 6 zeigt eine Einlaufweiche von Kummeler und Matter, die unter Einsatz moderner Kunststoffe wie Teflon und verschleißarmer Legierungen wie Bronze für Fahrdrabt sowie Alu Profile für das Weicheherz gegen Entdrahtungsschläge geschützt ist. Sie weist eine Reihe von Vorteilen für die Praxis auf.

- Fahrgeschwindigkeiten bis zu 50 km/h
- große Entdrahtungssicherheit

- geräuscharm
- robust gegen Schläge
- geringes Gewicht (Alu Profile!)
- einfacher Unterhalt (leicht auswechselbare Verschleißteile)



Abb. 6: Mechanische Einlaufweiche von Kummier und Matter für hohe Fahrgeschwindigkeiten [13]

Die in Abb. 7 gezeigte Auslaufweiche besteht im mechanischen Aufbau aus zwei Modulen, nämlich dem befahrenen Teil (Weichenboden) und dem Antriebsteil (Antriebsboden). Das befahrene Modul, (Weichenboden) trägt die Anschlussstücke und die Zunge. Es besteht wie bei der Einlaufweiche aus einem starken Alu-U-Profil und schützt so die beweglichen Teile vor Beschädigung durch Entdrahtungsschläge. Die befahrenen Teile sind bei Abnützung sehr rasch auswechselbar und ersparen eine komplette Auswechslung des Weichenkörpers. Durch die Verstellbarkeit der Anschlussstücke kann die Weiche für Ablenkung nach links, rechts oder symmetrisch eingebaut werden. Der Antriebsboden trägt den Elektromagneten, die Kontrolleinheit und die Kurvenplatte. Der Elektromagnet ist doppelseitig ausgeführt, d.h. er zieht und stößt für beide Schaltrichtungen der Zunge. Dadurch kann die Weiche mit oder ohne Zungenrückstellung eingesetzt werden. Die Arretierung erfolgt auf der Seite durch einen im Elektromagneten eingebauten Permanentmagneten. Durch diese Lösung werden für die Ver- und Entriegelung weder Klinken noch Federn benötigt. Dadurch entfallen diese störanfälligen Elemente. Die Zug- und Schubstange überträgt die Bewegung auf die Kurvenplatte. Eine darin eingelassene Kulissee nimmt den Bolzen der Zunge auf. Der Weg der Zunge ist damit zwangsgeführt und jede Einstellung fixiert. Die Kurvenplatte ist mit Teflon beschichtet und daher praktisch verschleißfrei. Für die ganze Betätigung der Weiche ist nur ein Minimum an mechanisch beanspruchten Teilen vorhanden.

Bei den zulässigen Fahrgeschwindigkeiten ist ein großer Unterschied zwischen Gerade-aus-Fahrt und Abbiegerichtung, für die Gerade-aus-Fahrt sind Geschwindigkeiten bis zu 50 km/h durchaus möglich, beim Abbiegen bleibt man bei 20 km/h.



Abb. 7: Auslaufweiche mit gesondert gezeigtem elektrischem Antrieb (in 600 V (oben) und 24 V (unten) Gleichstromausführung, [13]

Ein wichtiges Fahrleitungselement sind die Streckentrenner, die über Dioden abgesichert eine stromfreie Trennung auch während der Überfahrt eines O-Busses gewährleisten und so die gefahrlose Montage an abgeschalteten Streckenabschnitten ermöglichen.

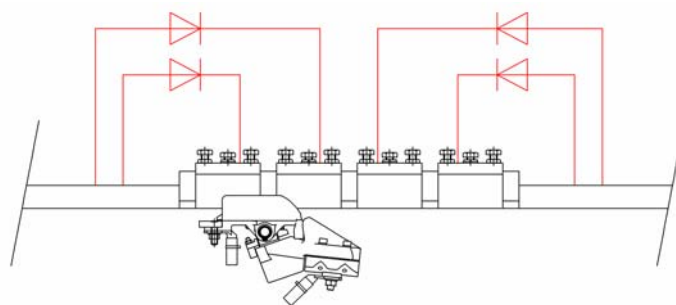


Abb. 8: Moderner Streckentrenner mit Diodensteuerung zur unterbrechungsfreien Stromversorgung in nicht abgeschaltetem Zustand [13]

Mit der in Abb. 8 gezeigten Ausführung ist es auch möglich Streckentrenner in Haltestellen, Bergfahrt- und Anfahrbereiche einzubauen, da im nicht abgeschalteten Zustand eine völlig unterbrechungsfreie Stromzufuhr gewährleistet ist. Lästige Funkenbildung und ggf. Betriebsunterbrechung sind so ausgeschlossen. Die Vorteile können mit

- jederzeit elektr. Trennung von zwei Sektoren

- kann jederzeit von Trolleybus mit voller Leistungsaufnahme befahren werden
- keine Unterbrechung der Stromversorgung für den O-Bus
- sehr gut geeignet:
 - beim Anfahren an Haltestellen
 - beim Anfahren an Ampeln
 - in Steigungen
- erhöht Flexibilität in der Projektierung
- große Erleichterung für den Fahrer

zusammengefasst werden.

Für die Fahrdrachtaufhängung in Kurven und Geraden stehen Kunststoffisolierkörper zur Verfügung, die eine elegante Aufhängung ohne Zusatzseil ermöglichen und einen guten optischen Eindruck der „Gleise und Himmel“ gewährleisten. (vgl. Abb. 9)

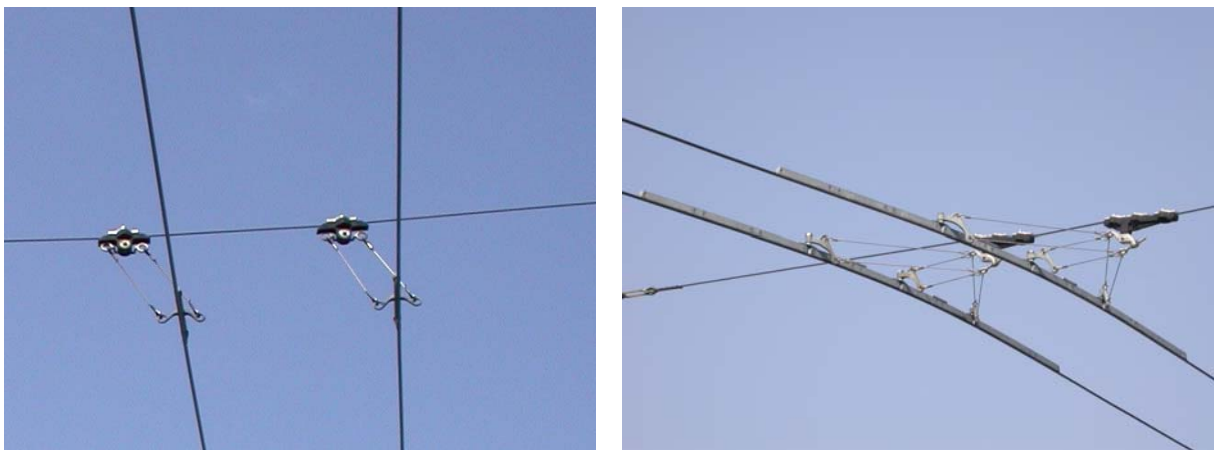


Abb. 9: Aufhängung des Fahrdrachts in Gerade und Kurve mit Kunststoffisolierkörper für elegante Befestigung und guten optischen Eindruck [13]

Die eleganten Fahrleitungskonstruktionen sind mittlerweile weltweit im Einsatz z.B. in Bern, wo die O-Bus befahrene Innenstadt zum Weltkulturerbe der Unesco gehört. In Linz sind Straßenbahn und O-Bus Netze im Einsatz, hinzukommt eine unterirdische Tunnelstrecke. In Zürich sind Straßenbahn und O-Busstrecken parallel und sich kreuzend realisiert. In Boston, USA, ist das O-Bus System als Schnellbussystem (Bus Rapid Transit (BRT)) mit eigener Fahrspur bzw. Tunnelstrecke ausgeführt und auf hochgeschwindigkeitstaugliche Fahrleistungen ausgelegt. In Arnheim, in den Niederlanden, haben die Holländer mit einem 1997 begonnenen Ausbau des Fahrleistungs- und Streckennetzes Maßstäbe für leistungsfähigen, zuverlässigen und flüssigen Betrieb bei dichter Taktfolge gesetzt. Rom schließlich als eine der weltweit bedeutendsten Kulturstädte zeigt, dass O-Bus Betrieb mit modernem Fahrleitungsbau und historischen Städten gewährleistet ist und wo es eng und schwierig wird, ein bimodaler Betrieb mit automatischem Eindrahten am Ende der fahrdrahtfreien Strecke, eine städtebauliche Meisterleistung ermöglicht.

3 O-Bus und Stadtbahn

Stadtbahnen als schienengebundene Systeme des öffentlichen Verkehrs vereinen eine Reihe von Vorzügen wie

- lange Züge mit wenig Personal
- konkurrenzloses Antriebssystem
- Bremsenergierückgewinnung
- Abgasfreiheit
- hohes Fahrgastaufkommen durch sichtbare Linienführung

allerdings geht dies einher mit

- hohen Investitionskosten für Infrastruktur
- teures Rollmaterial
- lange und schwierige Planungs- und Entscheidungsprozesse
- lange Realisierungszeiten mit großer Belästigung des urbanen Lebens

Die Nachteile der schienengebundenen Stadtbahnsysteme lassen sich mit Bus-Systemen auffangen, insbesondere in der Ausprägung mit eigener Fahrspur und ggf. Haltestellen mit Ein- und Aussteigemöglichkeiten auf gesonderte Halteinseln in der Fahrbahnmitte. Es bleibt der Nachteil geringen Fassungsvermögens und der nicht wahrnehmbaren Linienführung bei Verwendung üblicher Solo- oder Gelenkbusse. In Abb. 10 ist nun ein Buskonzept gezeigt, wie es in Genf in der Schweiz, aber auch in Quito in Ecuador in Südamerika zum Einsatz kommt. Dieser O-Bus als Doppelgelenkbus mit 2 angetriebenen Achsen von Hess (Fahrzeugbau, Bellach, Schweiz) und Kiepe (Elektrik, Düsseldorf, Deutschland) bietet mit 24m fast 200 Plätze davon 66 Sitzplätze und zeigt als „Light Tram“, dass sich O-Bus und Stadtbahn in ihrer Verkehrsanwendung immer näher kommen.



Abb. 10: Doppelgelenk O-Bus im Einsatz in Genf, Schweiz mit 24m Länge, 2 angetriebenen Achsen und fast 200 Plätzen (davon 66 Sitzplätze) [8]

Es bleibt festzuhalten, dass für ein solches System mit stadtbahnähnlicher Kapazität gilt

- die Infrastruktur ist 5-10mal billiger als bei Stadtbahnen
- das O-Bus System ist 10mal schneller realisiert als eine Stadtbahn

- das System hat mittlere bis hohe Transportkapazität
- das System ist extrem leise (Elektroantrieb und Gummibereifung)
- das System weist eine hohe Leistungsfähigkeit und sehr gute Klettereigenschaften auf
- O-Busse haben wenig Vibration und wenig rotierende Teile

und wegen der eingesetzten netzversorgten Elektrotraktion ist das System eine echte Alternative zum Dieselbus

- kein Energieverlust im Stillstand
- Bremsenergierückgewinnung
- keine Abgase
- Unabhängigkeit von Preisentwicklung und Verfügbarkeit des Erdöls
- einfacher Einsatz regenerativer Energiequellen, da diese i.d.R. als elektrischer Strom zur Verfügung stehen
- Langlebigkeit

4 Der O-Bus - leise und sauber

4.1 Lärm

Für Lärmbelastung durch den Verkehr – für die es zur Zeit noch keine gesetzlich vorgeschriebene nationale Übersicht (mit Ausnahme der Flughäfen) gibt – muss laut EU-Richtlinie 2002/49/Ef (kurz: Umgebungslärmrichtlinie) eine Gesamtdarstellung ab Mitte 2007 für Ballungsräume >250.000 Einwohner und bis Mitte 2012 für Ballungsräume >100.000 Einwohner erstellt werden. Auf dieser Grundlage sind dann Konfliktkarten (Anzahl der lärmausgesetzten Personen etc.) und Aktionspläne zu erstellen. Es zeichnet sich also Handlungsbedarf ab und dem städtischen Nahverkehr fällt dabei eine besondere Rolle zu.

Die Maßnahmen stoßen auf die Schwierigkeit, dass im städtischen Bereich hohe Verkehrsmengen abgewickelt werden müssen und Verkehrswege und Bebauung vorgegeben sind. Eine Umstellung, auf den lärmarmen O-Bus Betrieb ist deshalb besonders sinnvoll, da sie für Hauptachsen und Bedienung von Ruhezonen mit öffentlichem Verkehr gleichermaßen wirksam ist.

Beim Auslegen der Nebenaggregate der O-Bus Fahrzeuge wie Lüftung und Klimatisierung ist auf Geräuscharmheit ebenfalls zu achten. Experimente mit Infrarotstrahlern zur Fahrgastraumheizung erwiesen sich als nicht besonders zweckmäßig.



Abb. 11: Klimaanlage für O-Bus [15]

Mittlerweile hat sich die Warmwasserheizung, gespeist mit dem Strom aus der Bremsenergieerückgewinnung als wirkungsvollste Umluftheizung erwiesen. Um die Standgeräusche auf ein Minimum zu reduzieren, wird die Lüfterdrehzahl automatisch bei stehendem Fahrzeug halbiert. [15]

Die Lärminderung von Lüftungsanlagen für O-Busse orientiert sich stark an den Ansätzen für Schienenfahrzeuge.



Abb. 12: Funktionsmuster für eine Transformatoranlage für einen Triebzug als Vorbild für die Lüftungsgeräuschminderung bei Klimaanlagen für O-Busse [3]

Beispielhaft soll hier die Optimierung der Lüftungsanlage eines Schienentriebfahrzeugs dargestellt werden: Ziel der Optimierung war eine 8dB(A) Minderung der Lüftungsgeräusche. In dem Projekt „LowVent“ arbeiteten Betreiber, Bahnindustrie und Forschungseinrichtungen zusammen. In der ersten theoretischen Phase des Projekts wurde ein Brechnungstool zur Strömungstechnik, Thermodynamik und Akustik der im Schienenfahrzeugbau üblichen Kühl- bzw. Lüftungsanlagen erstellt. Die zweite, praktische Phase sah mit Hilfe dieses Tools die Konzeption und die Konstruktion der Teile vor. Später folgten die Fertigung und anschließend die akustische Vermessung des Funktionsmusters der optimierten Kühlanlage. Die gefertigten Funktionsmuster (vgl. Abb. 12), der Lüftungsanlagen konnten das Ziel von 8 dB (A) Geräuschreduktion weit überschreiten. [3]

4.2 Feinstaub

Der Straßenverkehr trägt mit einer Reihe verschiedener Emissionen als Abgase und als Feinstaub unterschiedlicher Größe zur Umweltverschmutzung bei. Fahrzeugemissionen sind etwa zu 30% an der gesamten Feinstaubbelastung in städtischen Gebieten beteiligt. Andere verkehrsbedingte Feinstaubquellen sind aufgewirbelter Straßenbelag, Reifenabrieb und Bremsbelagabrieb vor allem im Bereich 2,5 – 10 µm Rußteilchengröße. Der Straßenverkehr ist Hauptverursacher bei NO₂ und Benzol, die wie Feinstaub ebenfalls im Fokus entsprechender EU-Grenzwerte für Umweltbelastungen sind.

Bei der Verteilung der Feinstaubkonzentration ist das genaue Umfeld von Straße, Bebauung und Verkehrsbelastung entscheidend. In einem 0,5 km breiten Gürtel entlang der Hauptstraße, ist die Konzentration von Stickstoffdioxid, schwarzem Rauch (Ruß) und Feinstaub (PM_{0.1}) sind merklich höher als in Gebieten mit weniger Verkehr. Andere verkehrsbedingte Verschmutzungen verteilen sich gleichmäßig über große Bereiche der Stadt. Aktuelle Maßnahmen sollten als Ergebnis die Reduzierung der verkehrsbedingten Verschmutzungen sowie eine Verbesserung der Luftqualität haben. Es wird erwartet, dass die Konzentration 2010 ungefähr 50% geringer als die von 1995 ist. Auch sollten 2010 90% der Stadtbevölkerung in den 15 Staaten, die vor dem 1.05.2004 zur EU gehörten, in Gebieten leben, die die Werte der EU-Luftqualitätsgrenzen für Stickstoffdioxid (stündliche Werte), Kohlenmonoxid, Benzol und Blei erfüllen [11]. Je größer der Durchmesser der Partikel, desto weiter oben im Atemtrakt des Menschen werden sie abgelagert. Feine Partikel mit einem Durchmesser unter 2,5 µm (PM_{2.5}) gelangen bis tief in die Lunge, daher sind sie besonders gefährlich für die Gesundheit. Auch die groben Teilchen sind schädlich, aber die gesundheitliche Relevanz von PM_{2.5} ist deutlich höher. Derzeit gibt die Europäische Umweltgesetzgebung nur Grenzwerte für Partikel mit einem Durchmesser unter 10 µm (PM₁₀) vor. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit sollte zukünftig bei den Bemühungen zur Verbesserung der Luftqualität und bei den gesetzlichen Regelungen von Immissionskonzentrationen der Fokus eindeutig auf den für die menschliche Gesundheit bedeuten deren Schadstoff PM_{2.5} gelegt werden. Die Immissionskonzentration soll in Wohngebieten reglementiert werden, wo sich der größte Teil der Bevölkerung über längere Zeiträume aufhält.

Für die verschiedenen Komponenten sind daher Grenzwerte festgelegt, die im Laufe eines Jahres überschritten werden dürfen bzw. die an einer begrenzten Zahl von Stunden als stündliche Werte überschritten werden dürfen. (vgl. Tabelle 1)

Tabelle 1: Grenzwerte für NO_x und Feinstaub gemäß EU Richtlinien [5]

Komponente	NO ₂		PM ₁₀	
Mittelungszeitraum	Kalenderjahr	1 Stunde	Kalenderjahr	24 Stunden
Grenzwert [µg/m ³]	40	200	40	50
Zulässige Anzahl von Überschreitungen	-/-	18/ Jahr	-/-	35/ Jahr
Stichtag	1.1.2010	1.1.2010	1.1.2005	1.1.2005

Abb. 13 zeigt die entsprechenden Messkurven für die Messstelle in der Konrad Adenauer Straße in Solingen. Dort verkehren 6 O-Bus Linien im 10 Minuten-Takt d.h. alle Minute fährt dort ein O-Bus.

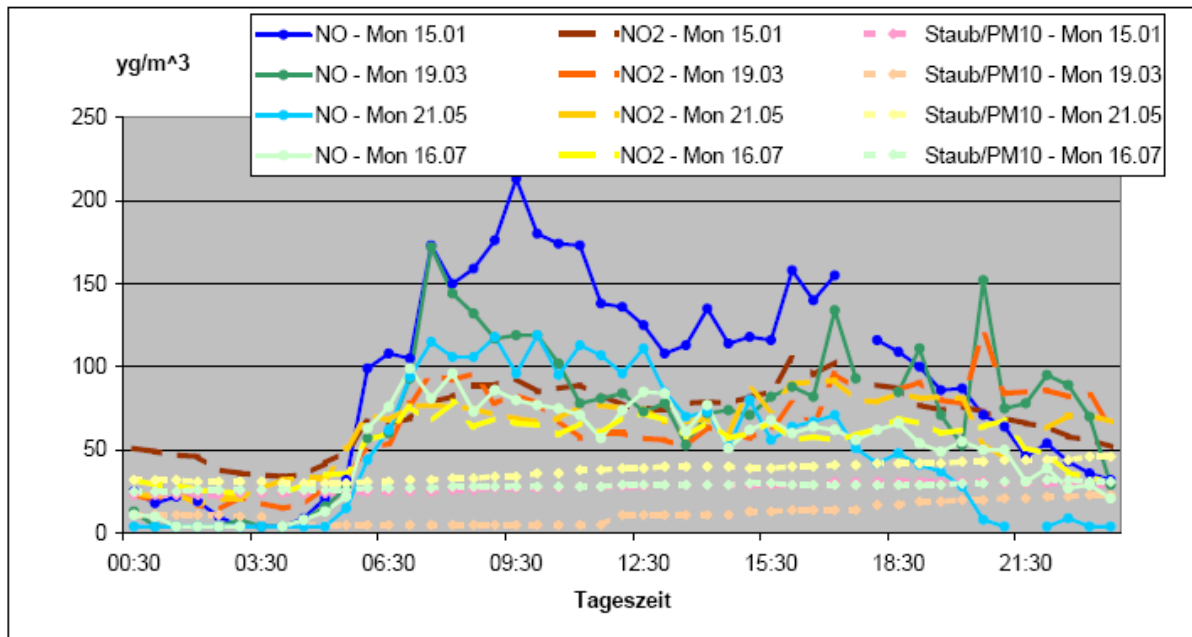


Abb. 13: NO, NO₂ und PM₁₀ Messungen in der Adenauer Straße in Solingen bei 6 O-Bus Linien und einem für eine Hauptverkehrsstraße typischen Verkehrsaufkommen für 2007 [6; 12]

Man erkennt, dass die Grenzwerte nie erreicht werden – an einer Strecke bei der mit einem minütlichen Dieseldieselverkehr bei entsprechender Grundlast die Werte längst überschritten wären. So schwierig der Mit-ohne-Vergleich im einzelnen auch ist – ggf. noch überlagert von den Ausbreitungs- und meteorologischen Verhältnissen - so bleibt doch festzuhalten, dass der O-Bus für die lokale Emissionsfreiheit steht und in Zukunft bei schärfer werdenden Bestimmungen hier einen zusätzlichen Pluspunkt verzeichnet. Abb. 14 zeigt die angesprochene Quellenanalyse für Berlin an einer Verkehrsmessstelle und bestätigt, dass die Hälfte der Emissionen, die zur Luftbelastung an verkehrsnahen Messstationen beitragen nicht dem Verkehr (lokal oder global) zuzuordnen sind. Bei den verkehrsbedingten Feinstaubemissionen sind die LkW (und Busse) weit überproportional vertreten.

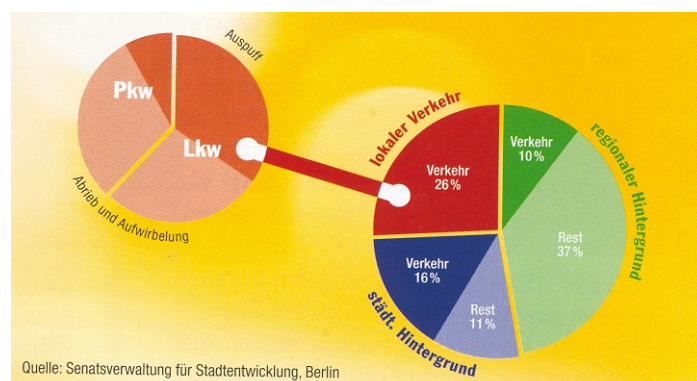


Abb 14: Anteil der Quellsektoren an der PM₁₀-Gesamtbelastung an einer Verkehrsmessstelle aus einer PM₁₀ Quellenanalyse in Berlin [1]

5 Der O-Bus –sparsam und wirtschaftlich

Der Ausgangspunkt für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit und dem effektiven Einsatz von O-Bus Systemen sind die Kostenstrukturen in einer Vollkostenbetrachtung (vgl. Abb. 15).

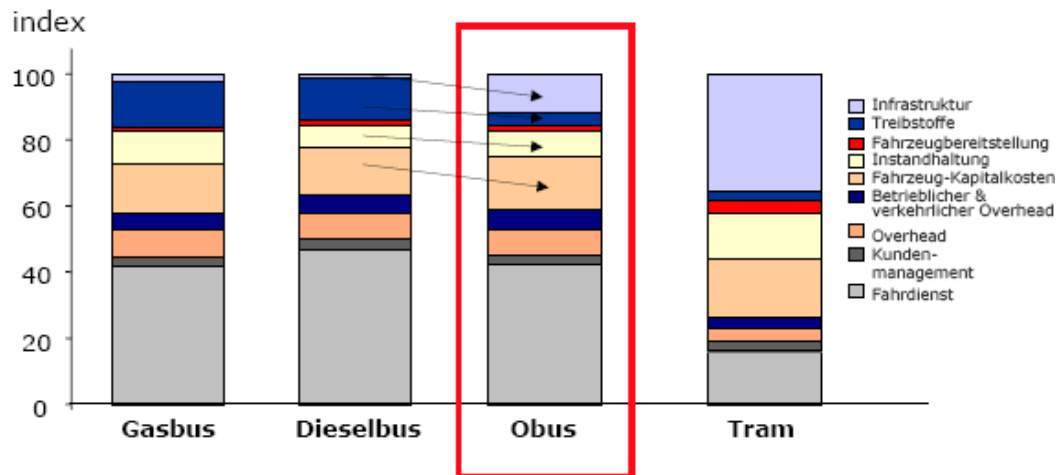


Abb. 15: Vollkostenbetrachtung verschiedener öffentlicher Personen, Nahverkehrssysteme im Vergleich [10]

Klar ist, dass bei Gas- und Dieselbus der Fahrdienst – insbesondere das Fahrpersonal – der größte Kostenblock ist. Nicht so bei Tram und O-Bus, deren Infrastruktur und Kapitalkosten für die Fahrzeuge macht die Kostenstruktur stark fixkostenlastig. Der O-Bus muss sich ähnlich wie die Tram seine Infrastruktur und die gegenüber Dieselnissen doppelt so teuren Fahrzeuge verdienen. O-Bus Systeme haben also wesentlich mehr Ähnlichkeit mit Straßenbahnen als mit Bussen. Der Systemvergleich ist in Abb. 16 nochmals plakativ zusammengestellt.



Abb. 16: Systemvergleich Dieselbus, O-Bus, Straßenbahn [10]

Der Systemvergleich zeigt, dass trotz der hohen Fixkosten O-Busse häufig die sinnvollere Alternative zur Straßenbahn sind, was Umsetzungsdauer, Investitionskosten und Betriebskosten anlangt.

Der Betriebskostenvergleich mit dem Dieselbus ist ganz entscheidend von der Entwicklung der Stromkosten abhängig. Derzeit sind die Betriebskosten ungünstigstenfalls 1 €/km höher wie Abb. 17 zeigt.

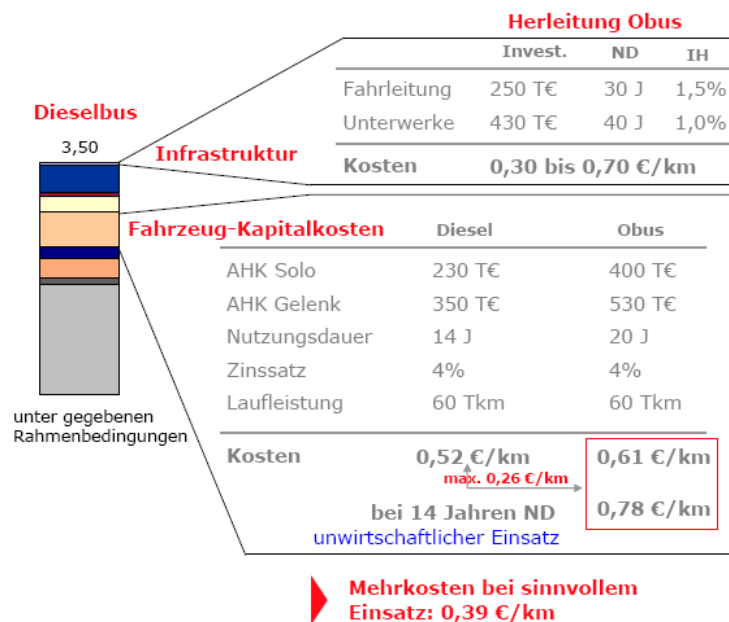


Abb. 17: Kostenvergleich O-Bus – Dieselbus für die derzeitige Investitions- und Betriebskosten [10]

Aber schon eine Extrapolation der Diesel- und Strompreise für die nächsten 5 Jahre lässt den Betriebskostenvergleich umkippen (vgl. Abb. 18). Hinzu kommt die einfache Möglichkeit regenerative Energie in Form von Strom bereitzustellen und so auf eine nachhaltige Antriebsenergieversorgung zu setzen.

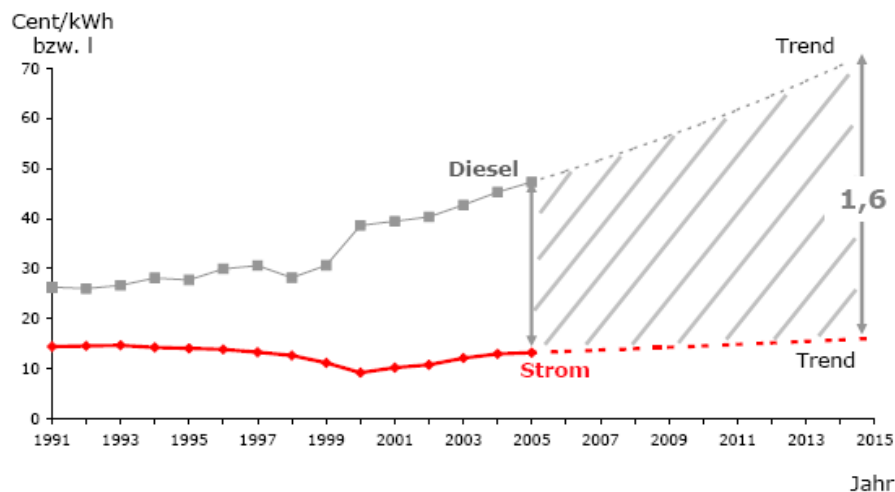


Abb. 18: Entscheidend für den künftigen Kostenvergleich die Extrapolation der Diesel und Strompreise [10]

Die Einsparung durch einen modernen, optimierten O-Bus Betrieb sind in Abb. 19 aufgelistet und zeigen, dass der O-Bus-Betrieb durchaus wirtschaftlicher sein kann als ein vergleichbarer Dieselbusbetrieb. Dabei ist der Schienenbonus durch die „Schienen am Himmel“ mit klarer Linienführung und Betonung einer Entwicklungsachse, die sich in nachgewiesenen höheren Nutzerzahlen äußert (siehe dazu den nächsten Abschnitt) noch gar nicht berücksichtigt.

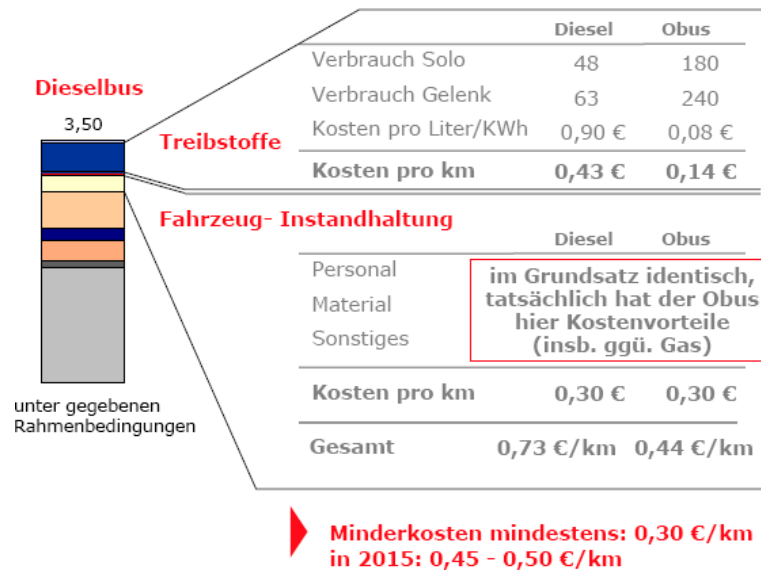


Abb. 19: Einsparpotential beim O-Bus im Vergleich zum Dieselbus durch wirtschaftlichere Fahrzeuge und geringe Treibstoffkosten [10]

Unter Einrechnung des Treibstoffvorteils schneidet der O-Bus deutlich günstiger ab. Dies zeigt ein Vergleich der Kapital- und Treibstoffkosten in Abhängigkeit von der jährlichen Laufleistung. (siehe Abb. 20)

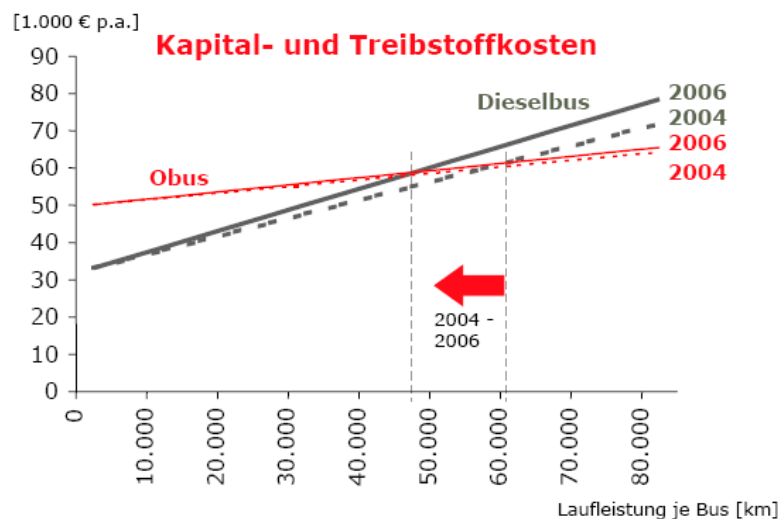


Abb. 20: Vergleich der Kapital- und Treibstoffkosten von Dieselbus und O-Bus in Abhängigkeit von der jährlichen Laufleistung [10]

Es bleibt festzuhalten:

- je höher die Nutzung, desto preiswerter ist der O-Bus,
- der Umschlagspunkt, ab dem der O-Bus wirtschaftlicher ist, liegt bei einer Laufleistung von 48.000 km/a

In den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen hat sich mittlerweile die Lebenszyklusbetrachtung etabliert. Dabei geht es darum, den gesamten Lebenszyklus eines öffentlichen Personennahverkehrssystems über 30 Jahre zu verfolgen und Betriebsausgaben, Ersatzbeschaffungen und Energiekosten über diesen Zeitraum zu analysieren. Abb. 20 zeigt eine solche Aufstellung für O-Bus und Dieselbus mit dem fast doppelt so hohen Erneuerungskosten des O-Busses auf der einen Seite und den für den

O-Bus günstigeren Energiefortschreibungskosten auf der anderen Seite. Bei Betrachtung der Lebenszykluskosten ist der O-Bus das deutlich günstigere System.

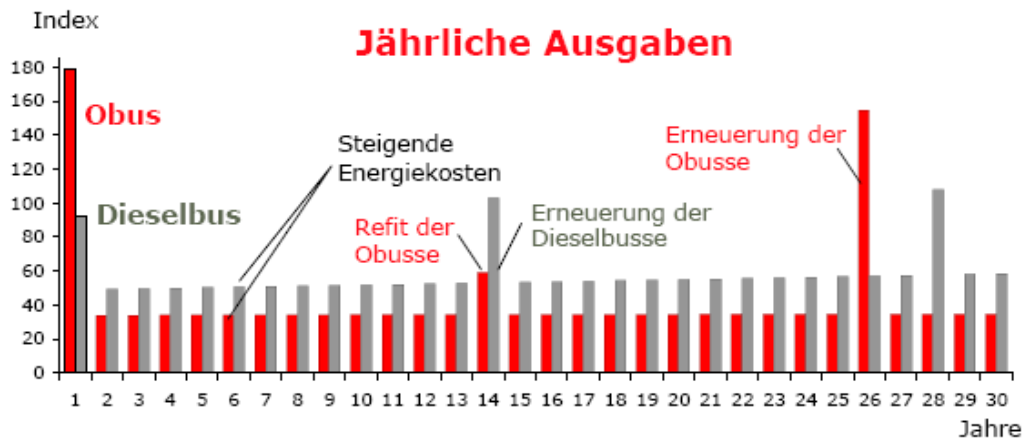


Abb. 21: Lebenszyklusbetrachtungen für einen Vergleich Dieselbus – O-Bus.

Man erkennt die selteneren aber hohen Erneuerungsausgaben und die günstigen Energiekosten für den O-Bus [10]

Der Vergleich lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Unter Fortschreibung des Trends bei den Energiekosten, sind die Kosten über einen Zeitraum von **30 Jahren** für den O-Bus erheblich geringer als für den Dieselbus
- Zu Nominalwerten beträgt der **Vorteil 25%**
- Werden **abgezinste** Zahlungsreihen verglichen, reduziert sich der Vorteil auf Grund der hohen Anfangsinvestitionen, beträgt aber immer noch **20%**
- Ergänzend werden noch **höhere Einnahmen** realisiert (10-15%) [10]

Für den O-Bus in Solingen gelingt auf der Basis konkreter Verbrauchszahlen ein realer Kostenvergleich. Die einzelnen Kostenarten sind in Tab. 2 aufgelistet. Mit Bremsenergieerückgewinnung ergeben sich Fahrzeugkosten inkl. Infrastrukturkosten von 1,00 €/km, für den Dieselbus liegen diese Kosten um 4% höher.

Tab: 2: Fahrzeugkosten inkl. Infrastrukturkosten für den O-Bus und Dieselbusbetrieb der Stadt Solingen [14]

Spezifische Kosten je km in € (2006)	O-Bus (Strom)	O-Bus (Strom / Energierück- führung)	A-Bus (Diesel)
Personalaufwand Fahrdienst	neutral	neutral	neutral
Betriebskosten	0,23 €	0,15 €	0,58 €
Instandhaltungskosten (Material)	0,27 €	0,27 €	0,31 €
Kapitalkosten	0,22 €	0,22 €	0,15 €
Fahrzeugkosten	0,72 €	0,64 €	1,04 €
Infrastrukturkosten	0,36 €	0,36 €	0,00 €
Fahrzeugkosten inkl. Infrastrukturkosten	1,08 €	1,00 €	1,04 €
	100%	93%	96%

Interessant dabei ist, dass die Materialkosten mit 27ct/km rund 10% unter denen des Dieselmotors liegen. Der O-Bus ist aufgrund der weniger aufwendigen Motorentechnik also kein Materialfresser; was sich nicht zuletzt in der deutlich höheren Lebensdauer widerspiegelt!

Die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen lassen sich in 5 Punkte zusammenfassen: [10]

1. Die Wirtschaftlichkeit von O-Bus Systemen hängt von deren Einsatzbedingungen ab
2. Sind diese optimal, ist der O-Bus nicht nur kostengünstiger als andere Arten des öffentlichen Verkehrs, sondern auch insgesamt nachhaltiger
3. Straßenbahn-Systeme können durch O-Busse ersetzt werden, wenn die Fahrgastnachfrage dies erlaubt:
 - Einsparungen in Höhe von 80% für Infrastruktur- und Fahrzeugerneuerungen,
 - 50% niedrigere Betriebskosten,
 - Systemwechsel dauert rund zwei Jahre,
4. Die Modernisierung eines O-Bus Systems lohnt sich:
 - Standardisierung und Ausschreibungen reduzieren die Buspreise (10-20%),
 - Neue Technologien reduzieren Energiekosten,
 - Umlaufoptimierung und Fahrplanung erhöht die Ausnutzung und Laufleistung der O-Busse,
 - Der Abriss der Infrastruktur ist teuer und braucht fast ebenso lange wie die Modernisierung der Anlage,
 - Insgesamt liegt das Kosteneinsparungspotenzial bei mindestens 25%.

5. Der Austausch eines Dieselbus-Systems gegen ein O-Bus System ist wirtschaftlich realisierbar

- Aus ökologischen Gründen (z.B. Landskrona),
- Wenn die Fahrgastnachfrage steigt, aber eine Straßenbahn noch nicht sinnvoll ist,
- bei entsprechendem Einsatz kann ein optimales O-Bus System im Betrieb kostengünstiger sein.

6 Das O-Bus Fallbeispiel Solingen

Der O-Bus Betrieb in Solingen ist eine Besonderheit, denn die betreibenden Stadtwerke können auf 4 Generationen seit 1952 zurückblicken. [16]



Abb. 23: Der O-Bus in Solingen in der 4. Generation – links: Der erste O-Bus geht in Solingen auf die Straße; rechts: Die neue O-Bus Generation in Solingen [14]

Das Liniennetz besteht aus 6 Linien:

- 681 Ohligs über Mehrschei nach Hästen
- 682 Ohligs über Wald nach Brockenberg
- 683 Burg Brücke nach Wuppertal-Vohwinkel
- 684 Hasselstraße nach Widdert
- 685 Stadtmitte über Klingenallee nach Auf-der-Höhe
- 686 Stadtmitte über Mangenberg nach Auf-der-Höhe

die alle Stadtteile abdecken. Mit über 3 Mio. Fahrgästen bei einer O-Busstreckenlänge von knapp 100 km und 49 O-Bussen stellt das System einen voll ausgebauten Dauerbetrieb dar und ist als Referenz für Technik und Wirtschaftlichkeit gut geeignet.

Der jetzige Niederflur-Gelenk-Trolley ist ein Gemeinschaftsprodukt von Van-Hool und Kiepe-Elektrik. Die technischen Daten sind in Abb. 24 aufgelistet.



Hersteller: Van-Hool
 Anzahl: 20 Stück im Jahr 2000
 Typ: AG 300 T
 zul.Gesamtgewicht: 26.900 kg
 Leergewicht : 16.700 kg
 Länge über alles: 17,98 m
 Breite über alles: 2,49 m
 Höhe über alles: 3,50 m
 Höchstgeschwindigkeit: 65 km/h
 Sitzplätze: 45
 Stehplätze: 90
 Elektrik: Kiepe Elektrik
 Leistung: 210 kW
 Antrieb: Drehstrom-Asynchronmotor

Abb. 24: Der Niederflur-Gelenk-Trolley AG 300T, der in Solingen eingesetzt wird [14]

Das Fallbeispiel Solingen lehrt, dass die betrieblichen Aspekte des O-Bus Systems fast denen des Dieselbusbetriebs gleichkommen.

- kein Gleiskörper notwendig,
- keine getrennten O-Bus/ Dieselbusfahrer (jeder fährt jedes Fahrzeug),
- einheitliches Personal,
- gleiche Betriebssteuerung,
- keine spezielle Werkstatt für Instandhaltung.

Jedoch O-Bus spezifische Vorteile wie

- Drehstromtechnik ist fast verschleißfrei,
- geringer Schmier-/ Betriebsstoffbedarf,
- vierteljährliches Wartungsintervall, beschränkt sich auf Sichtkontrollen und Reinigung,
- geringer Bremsbelagverschleiß

den O-Bus Betrieb vorteilhafter im Vergleich zum Dieselbus machen.

Bei den in Solingen eingesetzten O-Bussen sind eine Reihe von technischen Einrichtungen bemerkenswert. (die Referenznummern beziehen sich auf den Überblick zum Fahrzeugkonzept in Abb. 24)

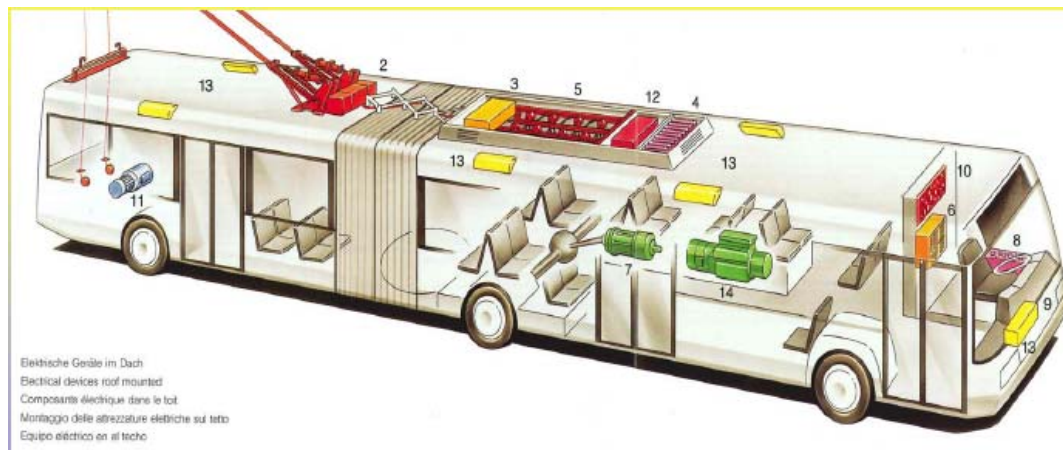


Abb. 25: Fahrzeugkonzept mit Referenznummern zu den Einzelheiten der Fahrzeugausrüstung [14]

Stromabnehmer (Referenznummer 2): Die Stromabnehmer sind mit einer Steuerung zur automatischen Eindrahtung und zur Vermeidung von Schlägen der Stromabnehmer gegen Fahrleitungseinrichtungen beim Entdrahten ausgestellt.

Dachaufbauten (Referenznummer 5): Lüftung und elektrische Steuerung sind als Dachaufbauten ausgebildet, um den Niederflurbetrieb zu gewährleisten. Für die Lüftung wurde die bereits erwähnte automatische Drahtzahlregulierung im Stand und eine optimierte Luftführung realisiert.

Motor (Referenznummer 7): Der verschleißarme Drehstrommotor (170kW) als kompakte, wartungsarme Antriebseinheit ist das Kernstück des O-Busses. Sie ist gegenüber einem Dieselbus wesentlich kompakter. Auf ein Radnabenmotorkonzept wurde bewusst verzichtet, da schwere schlecht abzufedernde schwingende Massen als Räder unweigerlich einen hohen Wartungsaufwand nach sich zögen. Ob in Zukunft hier mit leichten Hochtemperatur-Supraleitern neue Motorkonzepte realisierbar sind bleibt abzuwarten. [7]

Verdichter (Referenznummer 14): Der Verdichter versorgt den O-Bus mit der notwendigen Hydraulik für Bremsen und Lenkhilfen. Die Verwendung der regenerativen Motorbremse verringert aber den Einsatz der hydraulischen Radbremsen beträchtlich und führt zu einer deutlichen Lebensdauerverlängerung des Verdichters und der Bremsbeläge.

Dieselelektrisches Notaggregat (Referenznummer 11): Die Solinger O-Busse fahren im Linienbetrieb fast 100% mit Strom aus der Oberleitung. Lediglich bei Stromausfällen und in Zukunft auf kurzen oberleitungsfreien Stücken (im Unterberg und am Bahnhof Vohwinkel) wird das dieselelektrische Notaggregat gebraucht.

Bei den Solinger Verkehrsbetrieben hat man auch umfangreiche Erfahrung mit der Instandhaltung von Fahrzeugen, Oberleitung und Stromversorgung. Bemerkenswert ist, dass eine gemeinsame Buswerkstatt ausreicht sowohl für O-Busse als auch für Dieselbusse. (vgl. Abb. 26)



Abb. 26: Als Werkstatt reicht eine gemeinsame Werkstatt für Dieselbusse und O-Busse mit einem Dacharbeitsstand zur Wartung der Aufbauten [14]

Als Qualifikation des Instandhaltungspersonals für den wagenbaulichen Teil kommt ein Kfz-Mechaniker/ Mechatroniker mit Nutzfahrzeugkenntnissen in Frage. Für die Traktionstechnik des O-Busses wird Personal mit einer Ausbildung des Elektrohandwerks mit Kenntnissen der Steuerungstechnik und der Mikroelektronik benötigt. Die Instandhaltung der Oberleitung sieht einen Austausch des Fahrdrabes nach 10 bis 15 Jahren vor. Für die Instandhaltung der Stromversorgung (750 Volt Gleichstrom) ist eine Schlosserausbildung geeignet, möglich sind auch andere Handwerksberufe. Bei Arbeiten unter Spannung ist eine entsprechende Qualifikation/ Unterweisung notwendig. Für Arbeiten in Umspannstationen ist eine Ausbildung des Elektrohandwerks notwendig. Die Stationen sind quasi wartungsfrei, ihre Instandhaltung kann auch durch den örtlichen Energieversorger erfolgen.

7 Zusammenfassung, Handlungsempfehlungen und Ausblick

Der Einsatz moderner Obus-Systeme in Deutschland sollte im Rahmen einer integrierten Stadt- und Verkehrsplanung der Zukunft überall dort untersucht werden, wo

- ein Systemwechsel im städtischen Personennahverkehr angestrebt wird. Dies gilt besonders für Mittelstädte mit einem eigenen ÖPNV-System;
- bestehende Verkehrsnetze in Großstädten im Sinne von Teil- oder Randnetzen erweitert oder erneuert werden müssen. Dies bezieht sich besonders auf die Anbindung neuer Siedlungs- und Gewerbegebiete an gegebene kompakte städtische Infrastrukturen des Verkehrs;
- bestehende Bedienungsnetze des ÖPNV in Groß- und Mittelstädten einer generellen Optimierung infolge demografischer Veränderungen und der Verkehrsleitplanung zugeführt werden müssen.

Der elektrisch betriebene Omnibus von heute und noch mehr der nahen Zukunft gilt als umweltfreundliches und energiesparendes Nahverkehrssystem: Lokal emissionsfrei durch elektrischen Antrieb, im Betrieb geräuscharm, sanft und doch kraftvoll beim Anfahren und Bremsen. Er ist einfach und kostengünstig in die vorhandene Infrastruktur zu integrieren und sorgt für mehr Lebensqualität in der Stadt. Der Obus ist

mit anderen besonders innovativen Antriebssystemen in einem Fahrzeug zu kombinieren und erhöht damit die Umweltverträglichkeit. Der Obus ist kundenfreundlich, stadtkonform und arbeitet mit hoher Wirtschaftlichkeit. Unter all diesen Aspekten stellt das System Obus eine altbewährte und zugleich hochmoderne (vor genau 125 Jahren fuhr in Berlin im Grunewald der erste O-Bus, das von Werner von Siemens entwickelte „Elektromote“) umweltgerechte Fahrzeugtechnologie dar, die einer ständigen Vervollkommnung durch Forschung und Entwicklung durch Wissenschaft und Wirtschaft unterliegt. Die Vorbehalte gegen den Obus in Deutschland orientieren sich an einer Fahrzeugflotte, die technisch weitgehend überholt ist. Dagegen erreicht das heutige innovative System Obus in allen wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Parametern Spitzenwerte.

Die politischen Entscheidungsträger in den kommunalen Gebietskörperschaften sind aufgefordert, ihre Nahverkehrskonzepte zu überprüfen und den Obus in bestimmender Weise in zukünftige Konzepte der städtischen Verkehrsplanung zu integrieren. Die Verkehrs- und Umweltpolitik von Bund und Ländern sollte diesen strategischen Ansatz konsequent fördern und damit den Kommunen mehr finanzpolitische Spielräume im Rahmen der Infrastrukturentwicklung einräumen.

Es geht um die Vorbereitung der postfossilen Gesellschaft, denn trotz der überaus positiven Eigenschaften des Erdöls als Energieträger im Verkehr -

- es hat als natürliches Produkt eine sehr gute Energiedichte sowohl nach Gewicht wie auch nach Volumen,
- es bedarf keiner aufwändigen Tankstruktur, da es bei Umgebungstemperatur und Normaldruck flüssig und nicht allzu flüchtig ist,
- seine chemische Energie lässt sich durch Verbrennung bei sehr hohen Temperaturen mit guten Wirkungsgraden in Arbeit überführen,
- es ist Energieträger und Rohstoff zugleich und damit die Basis vieler Industrieprodukte -

zeichnet sich eine zunehmende Knappheit des Erdöls ab, mit explodierenden Preisen und zugehörigen Verteilungskämpfen. Zum anderen ist mit der Erdölverbrennung in Benzin und Dieselmotoren ein Anstieg des klimarelevanten CO₂-Ausstoßes verbunden. Es geht also um den Umstieg auf erneuerbare Energien und hier hat die solarthermische Stromerzeugung im Sonnengürtel der Welt das größte Potential. Entsprechend muss der Verkehr der Zukunft mit Elektro-Fahrzeugen bewältigt werden, die am Netz hängen. Entweder am Leitungsnetz, wie die liniengebundenen Verkehrsmittel Bahn, Straßenbahn und O-Bus oder am Netz zum Aufladen der Fahrzeugbatterie. Der O-Bus wird dabei eine wichtige Rolle spielen, da die heutige Leistungselektronik, die Sensortechnik und gute Kurzzeitspeicher alte Probleme elegant lösbar machen, den O-Bus Betrieb erleichtern und dem O-Bus sogar ein Stück Freiheit von der Oberleitung geben können. [2]

8 Danksagung

Die Autoren sind den Stadtwerken Solingen, insbesondere ihrem Geschäftsführer Conrad Troullier, für die vielfältige Unterstützung bei den Recherchen zum Thema O-Bus zu großem Dank verpflichtet.

9 Literatur

- [1] ADAC: Luftqualität verbessern – Mobilität sichern, Ergebnis-Dokumentation des 14. Wettbewerbs für Städte und Gemeinden 2005/2006
- [2] Eisenbeiß, G.: Energieversorgung, Klimaschutz und Verkehr der Zukunft; O-Bus Fachtagung, 10./11. Mai 2007, Solingen
- [3] Klopfer, M. et al.: Leben mit Lärm? Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich, Wissenschaftsethik und Technikfolgebeurteilung, Band 28, 2006
- [4] Krzyzanowski, M.; Kuna-Dibbert, B.; Schneider, J. (ed.): Health effects of transport-related air pollution; World Health Organisation 2005; ISBN: 92-890-1373-7
- [5] Kuhlbusch, T.; John, A.; Quaas, U.; Fissan, H.; Schmidt K.-G. Schmidt: PM10 –Quellenzuordnung – Ergebnisse aus verschiedenen Bundesländern in Staub und Staubinhaltsstoffe; Experten Forum, 10./11. November 2004, VDI Schriftenreihe Band 33, Düsseldorf
- [6] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW: <http://www.lanuv.nrw.de/luft/temes/0712/VSGK.htm#jetzt>
- [7] Main Echo GmbH Co. KG Verlag („Bote vom Untermain“, Miltenberg),
Ausg.: 28.05.2002: Oswald-Entwicklung stoßen auf weltweites Interesse:
http://www.ivsupra.de/images/stories/Extern/AndereArtikel/2002_oswald_05_2002.pdf
- [8] Schaffer, H.: Der Trolleybus als Alternative zur Stadtbahn; O-Bus Fachtagung, 10./11. Mai 2007, Solingen
- [9] Schmitz, M.: Optimierte Energienutzer, VÖV UTP, 31.08.06
- [10] Schuchmann, A.: Wirtschaftlichkeit im Systemvergleich O-Bus – Dieselbus; O-Bus Fachtagung, 10./11. Mai 2007, Solingen
- [11] Sojref, D.: High Performance Energy Storages for Mobile and Stationary Applications: HPSMT, Cost Action 542. 2007
- [12] Stadtwerke Solingen 2007
- [13] Steiner, D.: Innovationen im Fahrleitungsbau; O-Bus Fachtagung, 10./11. Mai 2007, Solingen
- [14] Troullier, C.: Willkommen in der O-Bus Stadt; O-Bus Fachtagung, 10./11. Mai 2007, Solingen
- [15] Vossloh Kiepe: Produkterläuterung M. Schmitz, Düsseldorf 2007
- [16] <http://www.obus.info/obus/solingen/obus-sg-geschichte.htm>: Die Geschichte des Solinger O-Busses: