



Analyse neuzeitlicher Systeme des öffentlichen Personennahverkehrs und deren Anwendungsmöglichkeiten in Osnabrück

Endbericht



Erstellt von:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Verkehrsstudien

Prof. Dr. Reinhart Kühne

Tel.: +49 30 67055 200

E-Mail: reinhart.kuehne@dlr.de

Philipp Böhnke

Tel.: +49 30 67055 280

E-Mail: philipp.boehnke@dlr.de

September
2010

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort.....	4
2.	Straßen-/ Stadtbahnsysteme (kursorischer Überblick)	6
2.1.	Straßen-/ Stadtbahn als Attribut der Moderne - Straßburg	6
2.2.	Entwicklung der Standard- Straßen-/ Stadtbahn in Frankreich am Beispiel Nantes	8
2.3.	Straßen-/ Stadtbahnen ohne Oberleitung (Bordeaux et al.)	9
2.4.	Straßen-/ Stadtbahn als Einzellinie (Ulm)	10
2.5.	Straßen-/ Stadtbahn unter Mitbenutzung von Eisenbahnstrecken – Das Karlsruher Modell	11
2.6.	Straßen-/ Stadtbahn auf Gummireifen (Clermont Ferrand et al.).....	13
2.7.	Bewertung der aufgeführten Straßen-/ Stadtbahnsysteme	15
3.	Busbahn als Systemalternative zur Straßen-/ Stadtbahn	16
3.1.	Obus in Castellòn	16
3.2.	Utrecht (NL)	17
3.3.	BusWay in Nantes	18
3.4.	Spurgeführter Obus in Nancy	19
3.5.	Doppelgelenk-Obus in Genf (CH).....	19
3.6.	Leichtbau Doppelgelenk-Obus in Zürich (CH)	20
3.7.	Die Obusstadt Solingen	22
3.8.	Obusbetrieb in einer kleinen Mittelstadt – das Beispiel Eberswalde	25
3.9.	Die Europäische Obusmetropole Salzburg	27
4.	Zur Technik von Linienbus- Verkehrssystemen mit elektrischem Fahrentrieb	29
4.1.	Systemverhalten Elektromotor.....	29
4.2.	Zur Technik von Hybridantrieben	30
4.3.	Energiespeichersysteme.....	31
4.3.1.	Das Supercap Experiment in der Obusstadt Solingen	32
4.3.2.	Superkondensatoren der nächsten Generation	33
4.3.3.	Elektrobusse in Shanghai (EXPO, Innenstadt).....	33
5.	Kostenvergleich an ausgewählten Beispielen.....	36
5.1.	Kosten Straßen-/ Stadtbahn.....	36
5.2.	Kosten Obus	38
5.3.	Kostenvergleich neuzeitlicher Straßenbahn-/ Stadtbahn- und Busbahnsysteme..	40
5.4.	Kleine Marktübersicht für Anbieter von Busbahnsystemen	41
6.	Moderner öffentlicher Personenverkehr und Stadtentwicklung	43
6.1.	Fahrgastzuwächse aus Straßen-/ Stadtbahneffekt.....	43
6.2.	Verallgemeinerungen	44
6.3.	Neue Konzepte zur Verkehrsberuhigung	44
6.4.	Auswirkungen von Straßen-/ Stadt- bzw. Busbahnsystemen auf Immobilien und Einzelhandel.....	45
7.	Anwendungsmöglichkeiten und Empfehlungen für Osnabrück	47
7.1.	Neumarkt mit neuer Nutzung.....	47

7.2.	Entwicklungsachsen.....	48
7.3.	Ausbau des Eisenbahnnetzes als S-Bahn	53
7.4.	Aufwärtskompatibilität eines Busbahnsystems zur Straßen-/ Stadtbahn	53
7.5.	Mischbetrieb.....	54
8.	Literaturverzeichnis	55

1. Vorwort

Anhand einer Beispielsammlung aus dem In- und Ausland über neuzeitliche Straßenbahn-/ Stadtbahn- und Bussysteme mit dem Schwerpunkt elektrischer Antriebe - gegebenenfalls ohne Elektrifizierung von Trassen - soll die immer wieder aufkeimende Diskussion um die Ablösung des derzeitigen Stadtverkehrs Osnabrück, der ausschließlich mit Dieselbussen betrieben wird, durch ein Straßen-/ Stadtbahn verschlicht werden. Osnabrück hat historisch betrachtet eine lange Tradition im Bereich der elektrischen Nahverkehrssysteme – so existierten ein elektrischer Straßen-/ Stadtbahn von 1906 bis 1960 und ein Obus Betrieb von 1948 bis 1968. An diese Tradition könnte mit neuzeitlichen Straßen-/ Stadtbahn- oder Elektrobussystemen angeknüpft werden. Damit gelänge der Sprung in eine ÖV-Mobilität ohne Öl. Besondere Beachtung sollte dies auch vor dem Hintergrund verschärfter Umweltauflagen bezüglich Lärm (EU-Umgebungslärmrichtlinie vom Juli 2002 und entsprechende nationale Richtlinien vom Juni 2005) und Abgasen (EU-Feinstaubrichtlinie vom Januar 2005 und entsprechende Abgasnormen der EU) finden. Hinzu kommt die günstige Situation, dass Osnabrück über eigene Stadtwerke auch im Bereich Energieversorgung verfügt.

Das derzeitige Nahverkehrsangebot in Osnabrück ist durch einzelne Besonderheiten charakterisiert, die bei der Diskussion eines zukünftigen Konzepts für den öffentlichen Nahverkehr Berücksichtigung finden müssen:

1. Der Stadt- und Regionalverkehr ist durch integrierte Takte von Regional- und Stadtbuslinien intensiv verzahnt. Durch dieses Konzept konnte erreicht werden, dass wenig Parallelfahrten, geringe Umsteigezwänge und Taktverkehr den Busverkehr in der Region prägen und die Wirtschaftlichkeit erhöhen.
2. Für den regionalen Schienenpersonennahverkehr (auf den Gleisen der Eisenbahn) wurde das sogenannte Osnabrücker S-Bahn-Konzept entwickelt, das eine Grundlage für die Schienenpersonennahverkehrs-Planungen bildet. Teile dieses Konzepts wurden bereits realisiert, andere befinden sich in der Umsetzungsphase.



Abb. 1: Ein Bild aus alten Tagen: der 1 ½ stöckige Obus und eine Straßen-/ Stadtbahn auf dem Betriebshof an der Atterstraße. Elektrischer Nahverkehr hat also eine lange Tradition in Osnabrück [1]

Unstrittig ist, dass Osnabrück eine Vision für einen zukünftigen modernen öffentlichen Personennahverkehr benötigt. Veränderungen und Neuerungen können nur so zielgerichtet geplant und umgesetzt werden.

Die vorliegende Studie gibt Anregungen und Visionen bezüglich möglicher Neuerungen in der Linienstruktur und der Verkehrsbeziehungen im öffentlichen Personennahverkehr in der Region Osnabrück. Belegt werden die vorgeschlagenen Neuerungen mittels Fallstudien aus dem In- und Ausland, die sich an der jeweiligen Verkehrsnachfrage orientieren.

2. Straßen-/ Stadtbahnsysteme (kursorischer Überblick)

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über den aktuellen Stand der Technik bei neuartigen Straßen-/ Stadtbahnsystemen gegeben. Anhand der aufgeführten Beispiele lässt sich erkennen, dass bei den neuartigen Systemen eine gewisse Vermischung aus schienen- und straßengebundenen Verkehrssystemen stattgefunden hat. Die neuen Systeme versuchen die Vorteile der verschiedenen Systeme zu kombinieren und dabei die Nachteile zu minimieren. Auffallend dabei ist besonders das optische Erscheinungsbild der eingesetzten Fahrzeuge. Bei den neuartigen Systemen lässt sich auf den ersten Blick nur schwer feststellen, ob es sich um ein schienen- oder straßengebundenes Verkehrssystem handelt.

2.1. Straßen-/ Stadtbahn als Attribut der Moderne - Straßburg

Der öffentliche Verkehr ist in einer institutionellen Krise: Busse und Bahnen sind kein Objekt der Begierde [2]. Um dies zu ändern, hat sich Straßburg entschlossen, mit einem modernen Straßen-/ Stadtbahnkonzept den öffentlichen Verkehr aus der angestaubten Ecke zu befreien und mit hochmodernen Straßen-/ Stadtbahnwagen, einer auch die historische Innenstadt berücksichtigenden Oberleitungsführung und einer hohen optischen Präsenz den Schienennahverkehr in den Mittelpunkt der Stadtentwicklung zu stellen.



Abb. 2: Straßen-/ Stadtbahnsystem in Straßburg [3]

Die Straßen-/ Stadtbahn in der französischen Stadt Straßburg gilt als ein herausragendes Beispiel für die Wiedereinführung einer Straßen-/ Stadtbahn in der Neuzeit. Ehemals 1878 als Pferdebahn gegründet und 1900 elektrifiziert, wurde der Straßen-/ Stadtbahnbetrieb nach verschiedenen Um- und Ausbauten sowie Zerstörungen durch die zwei Weltkriege 1960 aufgrund von rückläufigen Fahrgastzahlen und hohem Instandhaltungstau eingestellt. Überlegungen bezüglich einer Wiedereinführung eines Straßen-/ Stadtbahnbetriebs reichen in die 1970 Jahre zurück. Letztlich dauerte es noch bis 1994, ehe die erste neue Strecke in Betrieb ging.

Betreiber der Straßen-/ Stadtbahn ist die Compagnie des Transports Strasbourgeois (CTS). Gegenwärtig sind fünf Straßen-/ Stadtbahnlinien (A-E) auf einem Streckennetz

von rund 33 Kilometern im Einsatz. Eine sechste Linie ist im Bau. Die Wiedereinführung wurde in Straßburg zum Anlass genommen, eine umfassende Neugestaltung des urbanen Lebensraums vorzunehmen. Ziel war es, den Durchgangsverkehr aus der Altstadt zu verbannen und zentrale Plätze mit hohem Verkehrsaufkommen (Place Kléber, vorher 50.000 Fz pro Tag) in Fußgängerzonen umzuwandeln. Dazu wurde ebenfalls der öffentliche Parkraum im Zentrum drastisch verringert. Als Ausgleich für diese Maßnahmen, wurde die neue Straßen-/ Stadtbahn in Kombination mit Park-and-Ride Plätzen in den Außenbezirken umgesetzt.

Buslinien wurden zugunsten der Straßen-/ Stadtbahn reduziert. Von den vormals neun innerstädtischen Buslinien wurden lediglich zwei Linien beibehalten. Der Bau der Straßen-/ Stadtbahn wurde von einem Städtebau-Architekten begleitet, um die Straßen-/ Stadtbahn möglichst gut in das Stadtbild einzugliedern. Dem Schienennetz fielen auf den Hauptstraßen einzelne Fahrstreifen zum Opfer, was sich wiederum gut mit dem gewählten Verkehrsberuhigungsansatz vertrug. Die Gestaltung der Haltestellen wurde (teilweise) von Künstlern und Architekten übernommen.

Anforderungen an die eingesetzten Fahrzeuge waren vollständige Niederflrigkeit und ein markantes individuelles Design. Dies führte dazu, dass in Zusammenarbeit zwischen dem Betreiber, dem städtischen Verkehrsbetrieb CTS, und der Herstellerfirma, der italienischen Firma Socimi, ein neues Fahrzeug, die Eurotram, entstand. Insgesamt stehen heute rund 90 Straßen-/ Stadtbahnwagen unterschiedlicher Länge zur Verfügung. Geliefert wurden diese zuerst von Socimi. Aufgrund von Firmenübernahmen und aus Kostengründen vergab CTS 2003 die dritte Lieferung an den Hersteller Alstom. Die positiven Erfahrungen aus Straßburg trugen zu Straßen-/ Stadtbahnneubauten in Montpellier und Nizza bei.

	Osnabrück	Straßburg (Frankreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 272.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 3.477
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 78
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	14
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Electricite de France Compagnie des transports strasbourgeois

Tab. 1: Städtevergleich Osnabrück – Straßburg (Frankreich) [4]

Die Beschränkung auf lediglich kollektive Verkehrsangebote sowie den Widerspruch von Reform- und Modernisierungsbemühungen und ständigen Kosteneinsparungen, der zunächst jegliches Experimentieren und Erproben vereitelt hat, hat man in Straßburg dadurch aufzulösen versucht, dass Prestigeattribute wie Modernität, Eleganz, Komfort und Sicherheit für die Straßburger Straßen-/ Stadtbahnen glaubhaft reklamiert werden. Es bleibt das Korsett der Behördenstruktur öffentlicher Verkehrsbetriebe, die beharrende Förderkulisse für den öffentlichen Nahverkehr und die Einbindung in eine Beförderungs- und Tarifpflicht. Trotzdem weist Straßburg einen möglichen Weg aus der institutionellen Krise des öffentlichen Verkehrs und ist in vielerlei Hinsicht ein leuchtendes Beispiel [5].

2.2. *Entwicklung der Standard- Straßen-/ Stadtbahn in Frankreich am Beispiel Nantes*

Die konsequente Renaissance der Straßen-/ Stadtbahn begann in Nantes bereits 1985. Nach anfänglichen Schwierigkeiten und kommunalpolitischen Querschüssen wurde das System zu einem 3-Linienkonzept ausgebaut und verbindet das Stadtzentrum Commerce mit den Außenbezirken in westlicher und östlicher Richtung Saint Herblain und Beaujoire sowie in nördlicher und südlicher Richtung Orvault Gran Val und Trocadiere sowie mit einer direkten Verbindung vom Vorort Plaisance ins Zentrum. Das Besondere am System in Nantes ist die konsequente Nutzung eines standardisierten Bahnkonzepts. Bereits in den 1970er Jahren wurde an einem Standardfahrzeug aus französischer Fertigung geplant, um die Skalenvorteile einer Produktion in großer Stückzahl zu nutzen. Es entstand so der Tramway Francais Standard. Dieses TFS-Fahrzeug ist 30 m lang, als zweiteiliger sechsachsiger Hochflur-Gelenktriebswagen ausgebildet, der als Zweirichtungsfahrzeug keine Wendeschleifen benötigt.



Abb. 3: TFS - Fahrzeug in Nantes [6]

Mit dem Aufkommen der Niederflurtechnik und der zögerlichen Aufnahme des TFS-Fahrzeugs durch andere französische Städte ergab sich die Notwendigkeit der Konstruktion eines neuen Standardfahrzeugs TFS2, um attraktivere Marktbedingungen zu schaffen. Noch in Mittelflurtechnik wegen der vorhandenen Hochbahnsteige, aber schon deutlich moderner und mit vielen Leichtbauelementen, zeigt sich der von Adtranz (heute Bombardier) entwickelte Intercentro AT6/5L. Er ist moderner aufgebaut und mit einer Fußbodenhöhe von 35 cm durchaus als Niederflurfahrzeug tauglich. Der Wagenaufbau besteht aus 5 Einzelmodulen. Die zweiachsig angetriebenen Fahrwerke mit Drehstromantrieb sind in den Kopfmodulen eingebaut. Zwischen Kopfmodul und Mittelgelenkwagen ist jeweils ein Fahrgastmodul schwebend eingehängt.



Abb. 4: Intercentro - Fahrzeug in Nantes [7]

Die Verwendung von Leichtbauteilen ermöglicht – ähnlich wie bei der Eurotram in Straßburg – eine deutliche Gewichtsreduzierung gegenüber dem Standard-Fahrzeug TFS2 von rund 20 %.

Der Stückpreis liegt bei rund 1,8 Mio. EUR und damit unter dem Preis der Straßburger Eurotram.

Auf das als Ergänzung in Nantes eingerichtete „Bus Way System“ als gebündeltes Stammstrecken- und Zubringer-Bussystem wird an anderer Stelle eingegangen. Es ist aber erwähnenswert, dass auch in Nantes nicht ausschließlich auf das teure Straßen-/ Stadtbahnssystem gesetzt wird, sondern da, wo es deutlich wirtschaftlicher ist, auf ein Busbahnsystem mit eigener Trasse, dichter Taktfolge und guter Verknüpfung.

	Osnabrück	Nantes (Frankreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 283.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 4342
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 65
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	11
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Transports de l'agglomération nantaise (TAN)

Tab. 2: Städtevergleich Osnabrück – Nantes (Frankreich) [8]

2.3. Straßen-/ Stadtbahnen ohne Oberleitung (Bordeaux et al.)

In Bordeaux erstmalig eingesetzt und mittlerweile auch in Reims installiert sind Straßen-/ Stadtbahnen ohne Oberleitung im Innenstadtbereich. Die Stromzuführung erfolgt über eine in der Fahrbahn verlegte Mittelschiene, die im Normalzustand stromlos ist. Erst wenn ein im Prinzip leitfähiges Stück von 8 m Länge vollständig von einem Straßen-/ Stadtbahnzug bedeckt ist, wird der elektrische Strom zugeschaltet. Die Stromzuführung über eine Mittelschiene ist den Modellbahnern seit 100 Jahren vom System Märklin bekannt. Dass dieses System jetzt auf die realen Straßen-/ Stadtbahnssysteme übertragen wird ist vor allem der Sorge um die optische Verschandelung historischer Innenstädte

geschuldet. In Bordeaux hat dieses System Weltpremiere erlebt, mit vielen kostspieligen Kinderkrankheiten. Die Bau- und Betriebskosten für die oberleitungsfreien Teilstücke liegen deutlich über denen normaler Abschnitte (siehe Abschnitt „Kosten“).

Wie eine Oberleitung für Obusse und Straßen-/ Stadtbahnen optisch ansprechend gestaltet werden kann, zeigen die Beispiele Straßburg und Lyon. Vorbehalte gegen Oberleitungen sind daher unbegründet und sollten zu filigranen in Haltestellenüberdachung und Straßenbeleuchtung integrierten Lösungen anregen. Ganz abgesehen davon, dass etwa beim Obus die „Schienen am Himmel“ die Stadtentwicklungsachsen betonen und den Nutzern einer auf Dauer angelegten nicht ständig umgeplanten Nahverkehrsverbindung signalisieren [9].



Abb. 5: Stadt-/ Straßenbahn mit Stromzuführung über in der Fahrbahn verlegter Mittelschiene in Bordeaux (links) und in Reims (rechts) [10; 11]

	Osnabrück	Bordeaux (Frankreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 235.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 4765
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 49
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	8 (bzw. 12)
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Tram et Bus de la Communauté Urbaine de Bordeaux (TBC)

Tab. 3: Städtevergleich Osnabrück – Bordeaux (Frankreich) [12]

2.4. Straßen-/ Stadtbahn als Einzellinie (Ulm)

Der folgende Abschnitt befasst beispielhaft mit Ulm, einer Stadt, die trotz nicht optimaler Randbedingungen an der Straßen-/ Stadtbahn als Transportmittel im öffentlichen Nahverkehr festgehalten hat und so zeigt, dass auch vor allem wegen der teilweise überlieferten Infrastrukturinvestitionen ein finanziell vertretbarer Straßen-/ Stadtbahnbetrieb möglich ist. Der Betrieb ist darüber hinaus auch heute noch so interessant ist, dass in einen weiteren Ausbau investiert wird.

Ulm hat ca. 120.000 bzw. mit Neu-Ulm zusammen ca. 175.000 Einwohner und eine Straßen-/ Stadtbahnlinie. Ulm ist dabei von Einwohnerzahl, Verkehrsangebot und umgebenen Eisenbahnnetz in etwa vergleichbar mit Osnabrück (ca. 165.000 Einwohner). Die Stadt betreibt zusammen mit Neu-Ulm durch die SWU (Stadtwerke Ulm/ Neu-Ulm GmbH) 19 Buslinien (davon 6 Nachtbuslinien) und die zuvor schon erwähnte Straßen-/ Stadtbahnlinie. Diese verbindet die Stadtteile Söflingen im Westen mit Böfingen im

Nordosten von Ulm. Die Straßen-/ Stadtbahnlinie stellt eine zentrale Säule des Nahverkehrs dar und ist als Durchmesserlinie sehr gut in das weitere ÖPNV-Angebot Ulms eingebunden. Bis zum Ausbau im Jahre 2009 war die Linie Söflingen – Donaustadion der kleinste Straßen-/ Stadtbahnbetrieb in Deutschland von der seit dem Jahre 1897 bestehenden Straßen-/ Stadtbahn. Selbst nach dem Ausbau der einzigen Linie 1 von 5,5 Kilometer auf 10,2 Kilometer gehört die Ulmer Straßen-/ Stadtbahn immer noch zu den kleinsten Betrieben in Deutschland. Derzeit gibt es konkrete Ausbaupläne in Ulm. Der Bau einer weiteren Linie befindet sich im Planungsstadium. Die notwendige Kosten-Nutzen-Analyse zur Beantragung von wichtigen Fördergeldern soll bis Ende 2010 abgeschlossen sein. Eine reibungslose Planungs- und Bauphase vorausgesetzt, könnte die neue Linie 2015 fertig gestellt sein (2012 Abschluss Planfeststellungsverfahren, 2013 Baubeginn, 2015 Fertigstellung). Über die Planung der zweiten Linie hinaus liegen weitere Grobplanungen für ein 5-Linien-Konzept vor.

Der Ausbau des knapp 5 km langen Ergänzungstücks Donauhalle – Böfingen eignet sich als aktuelles Zahlenwerk für Wirtschaftlichkeitsfragen für einen Straßen-/ Stadtbahnbetrieb. (siehe Abschnitt „Kosten“) [13]

	Osnabrück	Ulm/ Neu-Ulm
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 120.000+55.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 1025 / ca. 659
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 119 / 80
Stadtgliederung [Anzahl Stadtteile]	23	18 / 12
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität / Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm GmbH

Tab. 4: Städtevergleich Osnabrück – Ulm/Neu-Ulm [14]

2.5. Straßen-/ Stadtbahn unter Mitbenutzung von Eisenbahnstrecken – Das Karlsruher Modell

Es begann alles mit der Übernahme der von der Stilllegung bedrohten Eisenbahnstrecke Karlsruhe - Bretten und dem Einbau eines Trafos in ein Straßen-/ Stadtbahnfahrzeug zur Anpassung der 15kV und 16 2/3 Hz Eisenbahnstromversorgung an den Straßen-/ Stadtbahnbetrieb mit 750 V Gleichstrom. Mit diesem kleinen technischen Kunstgriff und zähen Verhandlungen über die Möglichkeit, dass Straßen-/ Stadtbahnfahrer nicht nur nach der Betriebsordnung für Straßen-/ Stadtbahnen (BOStrab) sondern auf den Eisenbahnstrecken auch nach der Eisenbahnbetriebsverordnung (EBO) mit demselben Fahrzeug fahren dürfen, gelang ein sensationelles Experiment, das mittlerweile zu einem der größten Straßen-/ Stadtbahnnetze in Deutschland geführt hat.

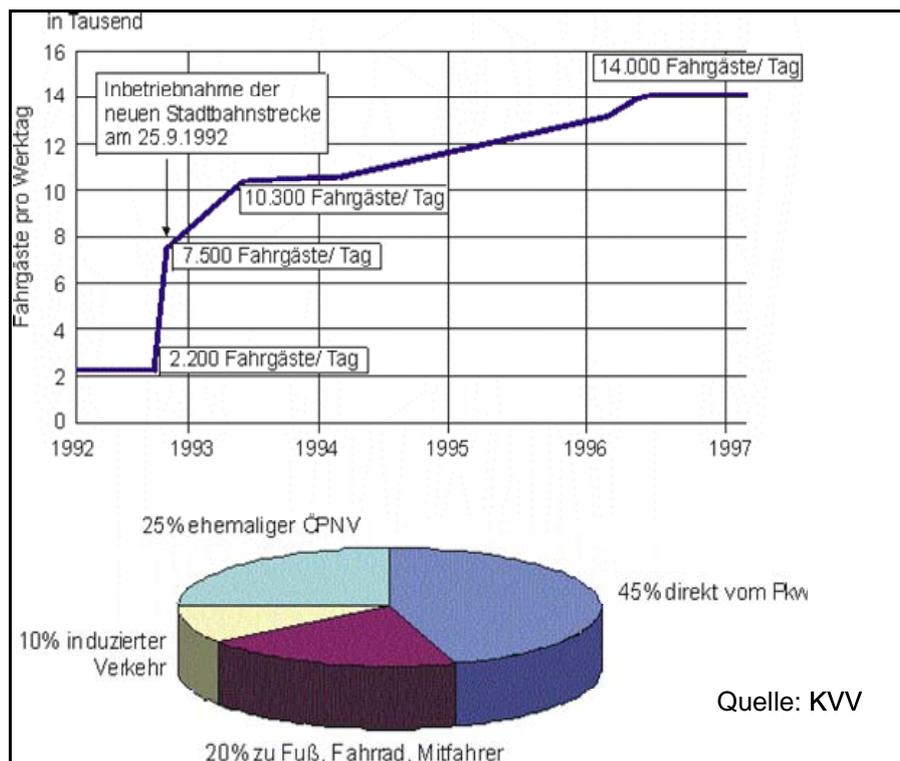


Abb. 6: Entwicklung der Fahrgastzahlen Straßen-/ Stadtbahnlinie KA-Bretten [15]

Die Entwicklung der Fahrgastzahlen nach Einführung des Straßen-/ Stadtbahnbetriebs auf der Eisenbahnstrecke Karlsruhe – Bretten im September 1992 zeigt eine rasante Entwicklung: nach 5 Jahren eine mehr als Versechsfachung der beförderten Personen. Einkaufen, Aus- und Weiterbildung und Freizeitaktivitäten in Karlsruhe sind für Brettener jetzt keine Staatsaktion mehr. Es gilt wie so oft bei der Einführung neuer Straßen-/ Stadtbahnssysteme: ein verbessertes Angebot hat eine deutlich höhere Nachfrage zur Folge, in der Fachsprache auch „induzierter Verkehr“ genannt.



Abb. 7: Das Zweistromsystem der Karlsruher Straßen-/ Stadtbahn – unauffällig und innovativ [16]

Das Straßen-/ Stadtbahnnetz der Karlsruher Verkehrsbetriebe reicht jetzt bis nach Heilbronn und Bietigheim. Es nutzt Eisenbahnstrecken in ganz Baden-Württemberg und es ist nur noch eine Frage der Zeit, bis erste Karlsruher Straßen-/ Stadtbahnwagen auch auf dem Gebiet der Stuttgarter Straßen-/ Stadtbahnen auftauchen werden. Der Erfolg dieses „Karlsruher Modells“ ist untrennbar mit dem langjährigen, charismatischen Verkehrsbedriebsdirektor Dieter Ludwig verknüpft. Es bleibt künftigen Generationen von Verkehrswissenschaftlern überlassen, zu untersuchen, welchen Anteil charismatische Führungs-

persönlichkeiten am Gelingen eines attraktiven, unkonventionellen öffentlichen Personenverkehrsystems haben.

Da im außerstädtischen Bereich auch Bahnstrecken benutzt werden, die über Eisenbahnstationen mit den gängigen, mindestens 55 cm über der Gleiskante liegenden Bahnsteige, verfügen und zusätzlich der schon oben erwähnte Transformator im Fahrzeugboden Platz finden muss, kann die Karlsruher Straßen-/ Stadtbahn nicht als Niederflurfahrzeug ausgelegt werden und braucht in der Regel Hochbahnsteige. Die Unterbringung der Nebenaggregate auf dem Dach, wodurch die bauliche Realisierung von Niederflurfahrzeugen - etwa des „Combino“ von Siemens – möglich wird bereitet anfangs große Stabilitäts- und Materialprobleme, ist aber mittlerweile technisch soweit ausgereift, dass grundsätzlich auch die Mitbenutzung von Eisenbahnstrecken mit Niederflurfahrzeugen möglich wäre. Neben dem Höhenunterschied bleibt bei den Niederflurfahrzeugen, etwa vom Typ Combino, auch die Wagenfederung problematisch, da aufgrund des begrenzten Platzbedarfs keine gut gefederten Drehgestelle verwendet werden können. Die direkte Führung der Achsen im Fahrzeugboden ist eine große Einschränkung im Fahrkomfort und hat deshalb keine wirkliche Verbreitung gefunden. Ausnahmen sind Kassel (D) und Muhouse (F). Ist einmal die Systementscheidung getroffen, lässt sich allerdings nur unter großem Aufwand umstellen und die einmal gewählte Hochflurtechnik bleibt bestehen. Eine Möglichkeit zur Nutzung beider Systeme stellt der Bau von sehr langen Bahnsteigen dar, die für beide Bauformen geeignet sind und über beide Bahnsteighöhen verfügen. Diese haben zumindest jedoch negative Folgen für die Stadtgestaltung und den Zugangskomfort [17].

	Osnabrück	Karlsruhe
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 292.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 1683
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 173
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	27
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Stadtwerke Karlsruhe Verkehrsbetriebe Karlsruhe (hauptsächlich)

Tab. 5: Städtevergleich Osnabrück – Karlsruhe [18]

2.6. Straßen-/ Stadtbahn auf Gummireifen (Clermont Ferrand et al.)

Für Außenstehende überraschend ist, dass die meisten spektakulären Neuerungen auf dem Gebiet der Straßen-/ Stadtbahnssysteme aus Frankreich kommen. Bedenkt man jedoch die dortige Förderpolitik, insbesondere durch den Stromanbieter EdF, der Planungs- und Machbarkeitsstudien finanziert und so der Elektrotraktion neue Wege eröffnet, so ist diese Entwicklung verständlich [19]. Das wohl eindrucksvollste Beispiel einer Neuentwicklung ist das gummibereifte Straßen-/ Stadtbahnssystem Translohr, das - gefertigt bei der elsässischen Firma Lohr - mittlerweile in Clermont Ferrand (F), Padua (I), L'Aquila (I) und Venedig (I) im Einsatz ist [Abb. 8]. Selbst in China (Shanghai und Tianjin) sowie in Japan wird mit diesen Systemen gearbeitet [20]. Streng genommen ein spurgeführter Obus, bietet das System einen straßen-/ stadtbahnähnlichen Service. Die Stromzuführung erfolgt über eine einpolige Oberleitung und einen Pantograph als Stromabnehmer sowie über die Erdung mittels einer in der Trasse verlegten Führungsschiene. Ein ähnliches System bietet auch Bombardier in Nancy an. [21] Der Unterschied hierbei ist,

dass die Stromzuführung genau wie beim Obus über 2 Fahrdrähte erfolgt und die Führungsschiene ohne Erdungsfunktion bleibt. Mit einem solchen System kann auch eine rein händische Lenkung ohne Spurführung realisiert werden, wie es beispielsweise in den Außenbereichen der Stadt sinnvoll sein kann. (siehe Abschnitt „Busbahnsysteme“)

Die Räder des Translohr Systems sind in den Gelenkportalen untergebracht, was die Fahrkurvenform optimiert und eine flexible Innenraumgestaltung zulässt [22].



Abb. 8: Das System Translohr als spurgeführte gummbereifte Straßen-/ Stadtbahn [23]

Die Betriebserfahrungen berichten von anfänglich vermehrten Entgleisungen, die durch die Entwicklung von entsprechenden Gleisräumen vermieden werden konnten. Die Vorteile wie große Bodenhaftung und Steigfähigkeit, Geräuscharm im Vergleich zu einem Schienenverkehrsmittel, genaue Spurführung und kurzer Bremsweg sind vor allem auf die Gummbereifung zurückzuführen. Der tatsächliche Unterschied zu einer Straßen-/ Stadtbahn ist gering. Für die Investitionskosten Infrastruktur bleibt anzumerken, dass der Fahrweg wesentlich billiger als eine komplette Schienentrasse ist. Es bleibt aber anzumerken: Entweder man spart am Fahrweg und legt in eine vorhandene Straße nur die Spurführung unter erheblichen Einbußen an Fahrkomfort oder man baut einen komplett neuen Fahrweg mit deutlich verbessertem Fahrkomfort als bei einem Bus, wobei dieses vom Aufwand dann dem Bau eines richtigen Gleisbettes nahe kommt [24 / 25].

	Osnabrück	Clermont-Ferrand (Frankreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 140.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 3269
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 43
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	14
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Société mixte des transports en commun de l'agglomération clermontoise

Tab. 6: Städtevergleich Osnabrück – Clermont-Ferrand (Frankreich) [26]

2.7. Bewertung der aufgeführten Straßen-/ Stadtbahnsysteme

Die aufgeführten neuzeitlichen Systeme - allen voran die französischen Beispiel - zeigen, dass Straßen-/ Stadtbahnen eine wahre Renaissance erleben und als urbane Verkehrsmittel zur stadtverträglichen Verkehrserschließung einen bedeutenden Beitrag liefern. Zu den Neuentwicklungen wie dem Translohr System ist alles wesentliche schon gesagt: die anvisierten Einsparungen und Systemverbesserungen sind ausgeblieben und eine Abhängigkeit von einem einzigen Lieferanten ist als bedenklich anzusehen. Im Falle Osnabrück bleibt die Frage, ob der ÖPNV tatsächlich gleich auf ein neues Straßen-/ Stadtbahnsystem umgestellt werden sollte, das mit 10 Mio. €/km und Anschaffungskosten von 2 Mio. €/Fahrzeug und somit eine gewaltige Investition wäre, die lediglich einige Hauptachsen neu bedienen würde?

Das bisherige Busnetz wird durch eine Straßen-/ Stadtbahn nicht vollständig ersetzt werden können und, wie das Beispiel Nantes zeigt, sind neuartige Busbahnsysteme mittlerweile eine ernsthaft diskutierte Alternative. Deshalb werden im folgenden Kapitel auch moderne Busbahnsysteme beschrieben. Diese dienen als Alternative oder aber auch als attraktive Zwischenlösung um künftig verschärften Umweltauflagen und / oder stadtverträglichen Verkehrserschließungen zu entsprechen.

3. Busbahn als Systemalternative zur Straßen-/ Stadtbahn

Busbahnsysteme haben sich in einigen großen Städten in Entwicklungsländern bereits seit längerer Zeit als Alternative zu Stadt- und sogar U-Bahnsystemen etabliert (z.B. Bus Rapid Transit Systeme in Curitiba und Bogota). Seit wenigen Jahren sind auch in einigen vergleichsweise kleinen Städten Europas Busbahnsysteme in Betrieb gegangen bzw. im Aufbau. Die nachfolgend vorgestellten Beispiele stellen die bekanntesten, in der Fachpresse diskutierten Busbahnsysteme, dar, einschließlich der spurgeführten Systeme in Castellón und Nancy.

3.1. Obus in Castellón

Eine der wirtschaftlich stärksten Regionen Spaniens, die Region Valencia, bemüht sich um fortschrittliche Nahverkehrssysteme mit neuen Straßen-/ Stadtbahnen (Stadt Valencia, Alicante als mittelgroße Stadt), unterirdische Umsteigebahnhöfe zwischen U-Bahn und Straßen-/ Stadtbahn (Stadt Valencia) und neue Obussysteme um den Anforderungen aus Wirtschaft und Tourismus gerecht zu werden.

Im Juni 2008 wurde ein 2 km langer Abschnitt eines neuen Obussystems in Castellón, der zur Region Valencia gehört, in Betrieb genommen. Dieses Busbahnsystem ist Teil eines künftig 38 km langen Netzes „TRAM“ als spanische Abkürzung für „Transport auf eigener Fahrbahn“. Die den ÖV vorbehaltene Fahrbahn sieht einen optisch geführten Obusbetrieb vor mit einem 8 bzw. 5 Minuten-Takt (Hauptverkehrszeit) und einer täglichen Betriebszeit von 16 Stunden. Auf dem o. a. Abschnitt wurde mit einer durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit von 17 km/h eine Beschleunigung um das Doppelte gegenüber der ursprünglichen Busverbindung erreicht. Nach einem einjährigen Betrieb hat sich das Fahrgastaufkommen auf 3500 Fahrgäste pro Tag eingestellt, was ca.25% des gesamten Verkehrsaufkommens im öffentlichen Verkehr in Castellón entspricht.



Abb. 9: Civis Obus in Castellón [27]

Das neue Obussystem in Castellón wurde aufgrund der speziellen örtlichen Begebenheiten ausgewählt. Die engen Gassen im Zentrum vereiteln einen Straßen-/ Stadtbahnausbau, ein spurgeführtes Busbahnsystem ist jedoch sehr wohl möglich. Auch die Aspekte der einfachen Ausbaumöglichkeiten, der schrittweise möglichen Realisierung sowie der vergleichsweise geringer Investitionskosten sind sehr interessant. Die Spurführung konnte gleich genutzt werden um eine besonders schmale Brücke über den RioSec, einer Überquerung eines Trockentals, zu realisieren. Die zielgenaue Anfahrt der Haltestellen wird als weiterer Grund für die Spurführung in Castellón genannt. Zu beachten

ist jedoch, dass geübte Fahrer sowohl in enge Haltestellen, über schmale Brücken ohne Rangierabstand als auch durch enge Gasse fahren, was die Spurführung unter Fachleuten in Frage stellt. Die eigene Trasse und die Wahrnehmung der Entwicklungsachsen durch die „Schienen am Himmel“ bleiben jedoch wesentliche und positive Merkmale des Obussystems.

	Osnabrück	Castellón (Spanien)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 180.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 1654
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 109
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	8
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	ACCSA

Tab. 7: Städtevergleich Osnabrück – Castellón (Spanien) [28]

3.2. Utrecht (NL)

Die Stadt Utrecht hat ca. 300.000 Einwohner, davon etwa 27.000 Studierende an der Universität Utrecht und liegt zentral in den Niederlanden. Westlich der Stadt ist mit dem Neubaugebiet „Leidsche Rijn“ eines der größten Wohnbauprojekte der Niederlande (Endausbaustufe im Jahr 2025 80.000 Einwohner und 40.000 Arbeitsplätze) im Entstehen begriffen (Website Gemeente Utrecht 2008)

An Stelle einer zunächst geplanten Straßen-/ Stadtbahnlinie verkehren hier dieselbetriebene Doppelgelenkbusse (van Hool AGG 300) auf einer Vorrangtrasse. Die im Jahr 2001 in Betrieb gegangene „De Uithof“-Strecke hat eine Länge von 6,9 km und führt vom Hauptbahnhof über die Innenstadt zur Universität. Die Linie ist Teil eines Gesamtkonzepts mit dem Kürzel HOV (hoogwaardig openbaar vervoer – hochwertiger öffentlicher Transport), das mit Vorrangtrassen für Busse, komfortablen Fahrzeugen und digitaler dynamischer Fahrgastinformation an den Haltestellen neue Fahrgäste für den ÖPNV gewinnen will (Website Gemeente Utrecht 2008). Das Netz wird Schritt für Schritt weiter ausgebaut. Geplant sind vorerst vier Streckenabschnitte, je zwei zum Universitätszentrum „De Uithof“ und nach „Leidsche Rijn“, die sich in Form einer Acht über das Stadtgebiet hinziehen. Die Strecken überkreuzen sich beim Hauptbahnhof und sind dort mit dem Regional- und Fernverkehr der Niederländischen Staatsbahn verknüpft (Website Gemeente Utrecht 2008). Die Trassen können auch von anderen Bussen befahren werden, die so abschnittsweise die ÖV-Trasse für einen umsteigefreien Linienverlauf nutzen können [29].

	Osnabrück	Utrecht (Niederland)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 307.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 3217
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 99
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	10
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Connexion

Tab. 8: Städtevergleich Osnabrück – Utrecht [30]

3.3. BusWay in Nantes

Das BusWay System in Nantes dient der Anbindung des Stadtzentrums an den Vorort Vertou und war ursprünglich als Verlängerung der Straßen-/ Stadtbahnlinie 3 (siehe Abschnitt 2.1) geplant. Aufgrund des erwarteten Passagieraufkommens erscheint diverser Ausbau jedoch nicht wirtschaftlich genug um die hohen Investitionen mit 22 Mio. €/km zum Ausbau des Schienennetzes zu rechtfertigen. Die Alternative eines auf eigener Trasse geführten Busses („BusWay“) erwies sich mit 7,5 Mio. €/km als deutlich günstigere und wegen der schnellen Realisierungsmöglichkeiten als sehr geeignet.



Abb. 10: BusWay in Nantes [31]

Bei der Gestaltung der Trasse wurde auf städtebauliche Attraktivität geachtet und der Autoverkehr durch die Wegnahme von Fahrspuren zurückgedrängt. Es wurde besonders auf eine konsequente Bevorrechtigung des BusWay Systems an Kreuzungspunkten geachtet.

Das BusWay System in Nantes wurde von den Bewohnern der Stadt schnell positiv aufgenommen, so dass das heute erreichte Fahrgastaufkommen die Erwartungen übersteigt. Gleichzeitig sank das Verkehrsaufkommen auf der Strecke von Vertou ins Stadtzentrum von Nantes signifikant von über 25.000 Pkw/Tag (2006) auf heute nur noch 18.000 Pkw/Tag. Dies liegt sicherlich an der enormen Zeitersparnis: statt 40 Minuten oder noch länger in der Rush Hour mit dem Pkw, dauert die Fahrt in der Linie 4 von Endstation zu Endstation weniger als 20 Minuten. Das Konzept von attraktiven Linienbussen auf straßenverkehrsunabhängigen Trassen ging auch in Nantes auf. Wesentliche Erfolgsfaktoren waren neben der bewussten Reduzierung der Fahrspuren für den Individualverkehr die hohe Kundenorientierung hinsichtlich Fahrgastinformation, Pünktlichkeit, Komfort und Design.

	Osnabrück	Nantes (Frankreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 283.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 4342
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 65
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	11
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Transports de l'agglomération nantaise (TAN)

Tab. 9: Städtevergleich Osnabrück – Nantes (Frankreich) [32]

3.4. Spurgeführter Obus in Nancy

Eine eigene französische Entwicklung ist das in Nancy eingesetzte System GLT (Guided Light Transit).



Abb. 11: Spurgeführter Obus in Nancy [33]

Es handelt sich hierbei um einen elektrisch angetriebenen vierachsigen Doppelgelenkbus, der über Doppeldraht wie ein Obus mit elektrischem Strom versorgt wird. Abschnittsweise kann der Bus an einer Mittelschiene in der Fahrbahn geführt werden, ebenso aber auch handgelenkt über eine Allradlenkung gesteuert werden. Der Vorteil eines solchen bimodalen Systems liegt in der Möglichkeit, zum einen die Spurführung und damit sehr enge Fahrbahn aus finanziellen Gründen auf bestimmte Bereiche zu begrenzen, und zum anderen das (spurgeführte) Streckennetz stufenweise auszubauen. Ein Nachteil jedoch ist das höhere Gewicht durch die mitgeführte Technik der zwei Querführungsmodi und die eingeschränkte Notwendigkeit einer automatischen Querführung. Es ist zu beobachten, dass Busfahrer nach einer kurzen Übungsphase den Bus sehr exakt führen können, was die Dringlichkeit der automatischen Spurführung deutlich reduziert. Deshalb wird dem System keine breite Durchsetzungsfähigkeit eingeräumt und lieber gleich der Aufbau eines Obus-Systems empfohlen.

	Osnabrück	Nancy (Frankreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 105.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 7019
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 15
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	11
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Service de transport de l'agglomération nancéienne (STAN)

Tab. 10: Städtevergleich Osnabrück – Nancy (Frankreich) [34]

3.5. Doppelgelenk-Obus in Genf (CH)

Die Busbahn als Systemalternative zur Straßen-/ Stadtbahn hat durch die Entwicklung der Fa. Hess zunächst für Genf und dann auch für Zürich einen deutlichen Schub bekommen. Grund dafür sind die Doppelgelenkbusse von knapp 25 m Länge mit Antrieben auf 2 Achsen in der Fahrzeugmitte (Hinterachse Leitungsfahrzeug und Achse Mittelteil) und einer Platzkapazität von ca. 190 Plätzen (davon 70 Sitzplätze). Gegenüber einer

Straßen-/ Stadtbahn ist der Doppelgelenkobus mit rd. 50% der Kosten deutlich günstiger.

Seit Ende 2005 haben die Genfer Verkehrsbetriebe auf den stark frequentierten Obus Linien Doppelgelenkbusse der Fa. Hess im Einsatz (die Elektrik/ Elektronik stammt von Vossloh Kiepe). Die Wagen sind eine Serienentwicklung eines Prototyps der 2003 auf der Basis eines Hess „Swisstrolley“ in Erprobung ging. Damit hatte Genf die ersten Doppelgelenk Obusse im Serieneinsatz. Mittlerweile sind solche Busse auch in Zürich (siehe nachfolgenden Abschnitt), Luzern und St. Gallen im Einsatz. Auch Hybridversionen sind inzwischen im Umlauf, die aus einem Dieselaggregat zur Stromgewinnung und Elektromotoren zur Fortbewegung bestehen und für die Bremsenergieerückgewinnung bzw. –speicherung auf Superkondensatoren in Kombination mit Batterien zurückgreifen.



Abb. 12: Doppelgelenk Obus in Genf [35]

	Osnabrück	Genf (Schweiz)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 190.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 11.988
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 16
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	4
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Transports Publics Genevois (TPG)

Tab. 11: Städtevergleich Osnabrück – Genf (Schweiz) [36]

3.6. Leichtbau Doppelgelenk-Obus in Zürich (CH)

Nach dem erfolgreichen Einsatz der Doppelgelenk Obusse in Genf hat sich Zürich für ein solches System auf der viel befahrenen „Linie 31“ entschieden. Nach dem Endausbau 2006 sind seit 2007 18 solcher Doppelgelenkbusse vom Typ „Swisstrolley“ im Einsatz. Dieser neuzeitliche Doppelgelenk Obus zeichnet sich auf Grund der gelenkten Hinterachse durch große Wendigkeit aus. Abb. 12 zeigt einen Doppelgelenkbus beim Wenden am Hegibachplatz. Weitere 16 vergleichbare Busse (LighTram) ergänzen den Doppelgelenk Obus Park und stellen Zürich an die Spitze der Busbahnentwicklung.



Abb. 13: kein Unterschied und trotzdem 80% billiger. Doppelgelenk Obus und Straßen-/ Stadtbahn in Zürich [37]

Heutzutage üblich ist ein mitgeführtes leistungsfähiges Notstromdieselaggregat, so dass der Bus auch fahrdrahtfreie Strecken oder etwa baustellenbedingte größere Umleitungsstrecken problemlos meistern kann. Die hydraulische Führung der Stromabnehmer gestattet problemloses Ab- und Eindrahten vom Fahrersitz aus. Die sich penetrant haltenden Vorurteile vom Stangen einfädelnden Busfahrer an jeder Weiche oder Kurve sind durch nichts gerechtfertigt, ganz abgesehen davon, dass moderne Teflonbeschichtete Fahrdrahtschleifenweichen die Gefahr von Entgleisungen gering halten. Die Erfahrungen aus den genannten Städten und aus der Obus-Stadt Salzburg belehren allfällige Kritiker eines Besseren.

Das schweizerische Ministerium für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation hat im Forschungsprogramm Verkehr Ansätze und Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs untersucht, insbesondere beim öffentlichen Verkehr. Die beiden Schwerpunkte, Leichtbau von Fahrzeugen und hocheffiziente Antriebssysteme, standen auch bei der Entwicklung eines Gelenkobusses im Mittelpunkt. Der in Zürich eingesetzte Swisstrolley 3 ist vor diesem Hintergrund konsequent für die aktuellen Bedürfnisse des Verkehrs in Ballungsräumen entwickelt worden – aufbauend auf den Erfahrungen der ersten beiden Fahrzeug-Generationen.

Nachfolgend werden die Highlights der Entwicklung von Hess (Bellach bei Biehl, CH) und Vossloh Kiepe (Düsseldorf) nochmals zusammengefasst [38]:

- Doppelgelenkbus für bis zu 200 Passagiere,
- Geschraubtes Aluminium-Baukasten-System mit Langzeiterfahrung,
- 2-achsige Antriebstechnologie mit Drehstrom-Asynchronmotoren.

	Osnabrück	Zürich (Schweiz)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 383.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 4362
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 92
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	12
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ)

Tab. 12: Städtevergleich Osnabrück – Zürich [39]

3.7. Die Obusstadt Solingen

Der Obus Betrieb in Solingen ist eine Besonderheit, denn die betreibenden Stadtwerke können auf 4 Generationen seit 1952 zurückblicken [40]



Abb. 14: Der Obus in Solingen in der 4. Generation – links: Der erste Obus geht in Solingen auf die Straße; rechts: Die neue Obus Generation in Solingen [41]

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 Klingentallee nach Auf-der-Höhe
- 686 Stadtmitte über Mangenberg nach Auf-der-Höhe

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

Die künftig verschärften Umweltauflagen sprechen eindeutig für den elektrischen Nahverkehr. Die Messstelle in der Adenauerstraße – einer typischen Hauptverkehrsstraße mit hohem Verkehrsaufkommen und 6 Buslinien im 6-10 Minuten Takt zeigt, dass die derzeitigen Grenzwerte für NO, NO₂ und PM₁₀ nie überschritten wurden.

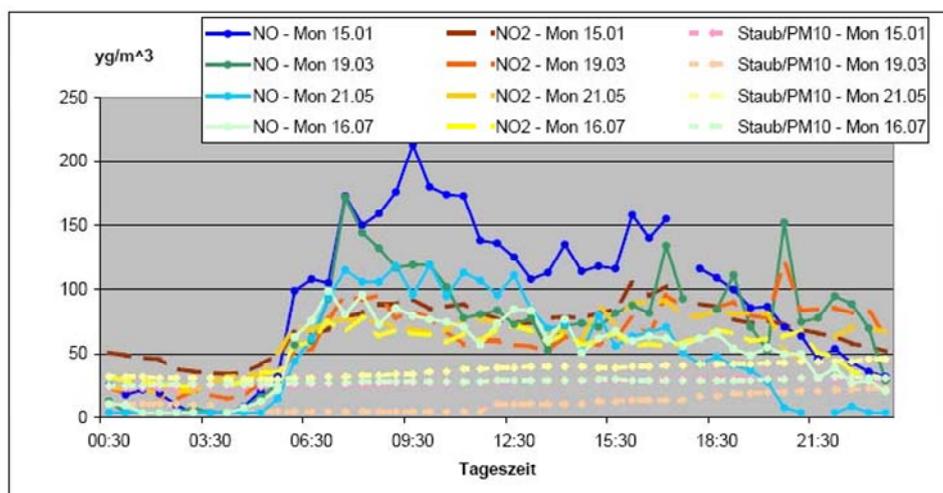


Abb. 15: NO, NO₂ und PM₁₀ Messungen in der Adenauer Straße in Solingen - einer typischen Hauptverkehrsstraße mit 6 Obuslinien [42]

Künftige niedrigere Grenzwerte können also auch mit der Obus Flotte erreicht werden, der Individualverkehr wird das Nachsehen haben.

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



Abb. 16: Der Niederflur-Gelenk-Trolley AG 300T in Solingen [43]

Das Fallbeispiel Solingen lehrt, dass die betrieblichen Aspekte des Obussystems fast denen des Dieselbusbetriebs gleichkommen:

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

Jedoch Obus spezifische Vorteile wie:

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

den Obusbetrieb vorteilhafter im Vergleich zum Dieselbus machen.

Bei den in Solingen eingesetzten Obussen ist eine Reihe von technischen Einrichtungen bemerkenswert (die Referenznummern beziehen sich auf den Überblick zum Fahrzeugkonzept in der nachfolgenden Abbildung).

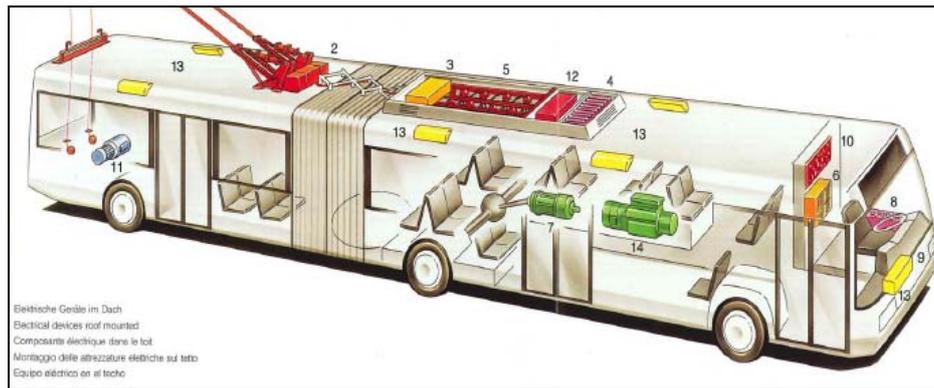


Abb. 17: Fahrzeugkonzept mit Referenznummern zu den Einzelheiten der Fahrzeugausrüstung [44]

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 wurden 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 Obusses. 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.

Verdichter (Referenznummer 14): Der Verdichter versorgt den Obus 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.

Dieselektrisches Notaggregat (Referenznummer 11): Die Solinger Obusse 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 dieselektrische 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 Obusse als auch für Dieselbusse.



Abb. 18: Gemeinsame Werkstatt für Diesel- und Obusse mit einem Dacharbeitsstand zur Wartung der Aufbauten [45]

Als Qualifikation des Instandhaltungspersonals für den wagenbaulichen Teil kommt ein Kfz-Mechaniker / Mechatroniker mit Nutzfahrzeugkenntnissen in Frage. Für die Traktionstechnik des Obusses 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.

	Osnabrück	Solingen
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 161.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 1800
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 89
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	5
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Berufskolleg
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Stadtwerke Solingen GmbH

Tab. 13: Städtevergleich Osnabrück – Solingen [46]

3.8. Obusbetrieb in einer kleinen Mittelstadt – das Beispiel Eberswalde

Eberswalde als Kreisstadt (41.000 Einwohner) des Landkreises Barnim dient als Beispiel für ein Mittelzentrum, das sich bewusst für den Obus Verkehr als wirtschaftliches Busbahnsystem entschieden hat. Die Stadt ist 1970 aus dem Zusammenschluss von Eberswalde und Finow hervorgegangen und ist geprägt durch Nahrungs- und Genussmittelindustrie, Waggonbau, Holzbe- und Verarbeitung, Maschinenbau, Eisen- Stahl- und Buntmetallerzeugung, Elektrotechnik und einem Binnenhafen.



Abb. 19: Trollino 18 in Eberswalde [47]

Der elektrische Nahverkehr hat eine lange Tradition in Eberswalde (Straßenbahn bis 1940; ab 1940 Obusbetrieb). Pünktlich zum Jubiläum werden 12 neue Solaris „Trollino 18“ Busse aus Mitteln des laufenden Betriebs beschafft, die ab Oktober 2010 Zug um Zug in den Dienst gestellt werden. Das Netz ist gekennzeichnet durch:

- 4 Mio. Fahrgäste/Jahr
- 14 Gelenk-Obusse
- 3 Gleichrichterstationen für die 650V Stromversorgung
- 37,2 km Linienlänge
- Die Erfahrungen in Eberwalde sind:
- Bei einem bestehenden Netz ist das Busbahnsystem die kostengünstigste Variante für den Nahverkehr unter der Einhaltung der Zielstellung des Aufgabenträgers zur Nullemissionsstrategie. Insbesondere unter dem Aspekt der Möglichkeit der Energieproduktion in der Region.
- Neue EU-Vorschriften (NOx, Lärm) werden den ÖPNV mit konventionellen Antrieb weiter verteuern
- Energiepreise insbesondere Öl werden wieder steigen und dadurch den Treibstoff „Strom“ insbesondere von eigenen Stadtwerken sehr attraktiv machen
- Schienenbonus bei den Fahrgästen bestätigt die Funktion der „Schienen am Himmel“

	Osnabrück	Eberswalde
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 41.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 442
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 93
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	7
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Fachhochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Stadtwerke Eberswalde Barnimer Busgesellschaft mbH

Tab. 14: Städtevergleich Osnabrück – Eberswalde [48]

3.9. Die Europäische Obusmetropole Salzburg

Aus kleinen Anfängen – erster Obus in Salzburg im Jahr 1940 – hat sich Salzburg zur europäischen Obusmetropole entwickelt und steht derzeit mit der Anschaffung von 23 „Trollino 18“ Obussen (sukzessive Auslieferung 2009 bis 2012) von Solaris ganz vorne in der Hitliste europäischer Obus-Städte. Beim angeführten Obussystem steht in Salzburg der Systemgedanke im Vordergrund. Das Liniennetz (vgl. Abb. 20)

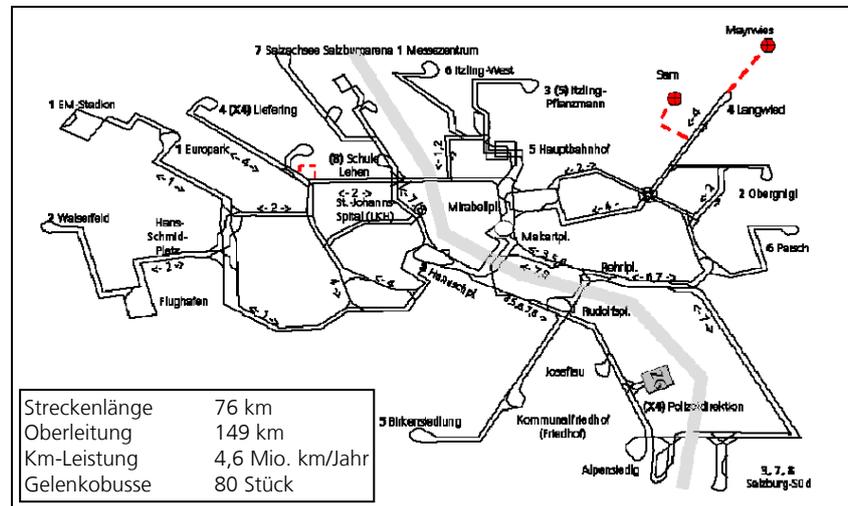


Abb. 20: Das Oberleitungsnetz der Salzburg AG [49]

verdeutlicht diesen Systemcharakter: 8 Unterstation und 1 Hauptstation speisen die elektrische Energie (600 V, Gleichstrom) in das Netz, das Bremsenergieaufnahme-fähig für eine Energiebalance zwischen Angebot und Nachfrage sorgt. Das Netz hat auch eine städtebauliche Entwicklungsfunktion. In der Vergangenheit zeigte sich, dass überall wo neue Oberleitungen verlegt wurden die Immobilienpreise stiegen, denn den Besitzern war klar: hier ist eine langfristige Entwicklungsachse mit bester Verkehrserschließung wo durch steigende Kundenzahlen zu erwarten sind.

Bei den Anschaffungskosten ist seit Jahren eine beachtliche Depression zu beobachten. Durch die starke Marktstellung der Salzburg AG, dem Betreiber des Obussystems in Salzburg, sind günstige Preise bei den Herstellern von Fahrzeugen und Elektrikkomponenten zu erzielen. Die Preise für einen 18 m Gelenkbus lagen im Jahr 2000 noch bei ca. 800.000 €, im Jahr 2005 bei ca. 710.000 € und bei den derzeitigen Neuanschaffungen bei ca. 550.000 €. Damit ist der Obus zwar immer noch ca. doppelt so teuer wie ein Dieselbus, bietet aber eine längere Laufzeit (Obus 20 Jahre, Dieselbus 13 Jahre) und geringere Betriebskosten (mit 15-20 Cent/km etwa 25 Cent/km günstiger als ein Dieselbus mit 40 bis 45 Cent/km). Die für 2006 gültigen Zahlen sind im Abschnitt „Kosten“ aufgeführt und zeigen auf einen Blick: Das Salzburger Obussystem ist in Betriebs- und Infrastrukturkosten deutlich günstiger als ein Straßen-/ Stadtbahnsystem.

Es gilt:

- Obussysteme sind 10x schneller installierbar (Planung und Bau)
- Baukosten sind bis zu 80% günstiger
- Operative Kosten sind bis 50% günstiger
- Nutzungsdauer von Bussen und Infrastruktur sind vergleichbar mit denen einer Straßen-/ Stadtbahn und deutlich höher als bei Dieselbussen (Dieselbus 13 Jahre, Obus 20 Jahre, Oberleitung 60 Jahre)

Für das Salzburger Obussystem gilt:

- Hohe Kundenakzeptanz → verbesserte Einnahmensituation bis zu +20%
- Imageverbesserung
- Erhebliche Geräuschreduktion im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln
- Keine Schadstoffbelastung für die ohnehin belasteten Innenstädte
- Lange Nutzungsdauer mit der Möglichkeit effizient zu modernisieren
- Geringer Energieverbrauch
- Energie-Recycling durch regenerative Bremssysteme
- Rascher & effizienter Austausch bestehender Systeme möglich

	Osnabrück	Salzburg (Österreich)
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 148.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 2247
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 66
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	24
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Universität /Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Salzburg - AG

Tab. 15: Städtevergleich Osnabrück – Salzburg (Österreich) [50]

4. Zur Technik von Linienbus- Verkehrssystemen mit elektrischem Fahrantrieb

Moderne Busbahnsysteme, wie sie hier beschrieben werden, verfügen über einen elektrischen Antriebsstrang. Die Vorteile des elektrischen Fahrbetriebs liegen in den Bereichen:

- Betriebskosten
- Fahrleistung
- Umweltfreundlichkeit

Die Betriebskosteneinsparungen bei Kraftstoff, Wartung und Instandhaltung sind beachtlich und ergeben gegenüber einem vergleichbaren Dieselbus fast eine Halbierung [51]. Vermeidung von Lastspitzen, der Drehmomentverlauf eines Elektromotors (höchste Drehmoment liegt bereits beim Anfahren an, d.h. ab Drehzahl 0) sowie Schonung der Bremsbeläge durch Motorbremsen mit Bremsenergierückgewinnung sind hierfür die Ursachen. Für genaue Wirtschaftlichkeitsberechnungen sei auf das vorherige Kapitel verwiesen.

4.1. Systemverhalten Elektromotor

Das prinzipielle Betriebsverhalten eines Verbrennungsmotors ist in Abb. 21 dargestellt. Im Anfahrbereich ist eine starke Übersetzung nötig und der Verlauf (1-2a) entspricht keineswegs der schnellsten Erreichung der optimalen Drehzahl und des besten Momentenverlaufs, wie er sich an einer direkten Anstiegskurve auf die Linie konstanter Leistung ergeben würde. Ganz anders der Elektromotor: hier ergibt sich das größte Drehmoment bei der Drehzahl 0, d.h. ein Elektromotor ist ungleich kräftiger im Anzug und bei Steigungen als ein Dieselmotor. Immer wieder sind die Nutzer von elektrischen Antrieben und sei es nur beim Elektrofahrrad erstaunt mit welcher Zugkraft elektrische Antriebe losfahren und Steigungen meistern.

Neben vielen weiteren Vorteilen wie:

- kein Energieverbrauch im Stillstand,
- kein Getriebe notwendig,
- Bremsenergierückgewinnung durch Umschalten auf Motorbremse mit Schonung des mechanischen Bremssystems,

spricht dies für den Elektrobus in der Form des netzgebundenen Obusses.

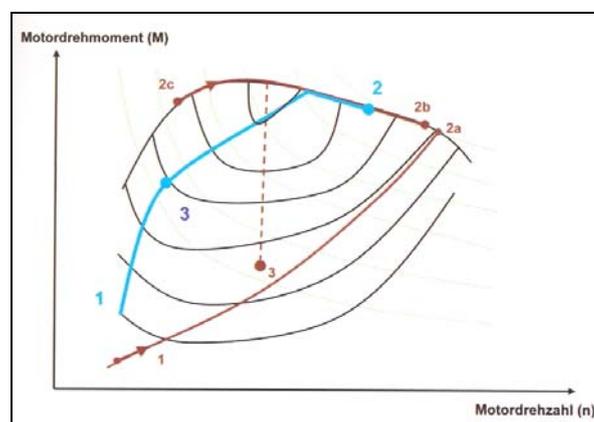


Abb. 21: Betriebsverhalten Verbrennungsmotor mit Automatgetriebe: Schematische Darstellung Volllastbeschleunigung – Übergang Konstantfahrt (Linien konstanter Leistung; Linien konstanten spezifischen Kraftstoffverbrauchs) [52]

4.2. Zur Technik von Hybridantrieben

Um die Vorteile insbesondere im Bereich der (lokalen) Emissionsfreiheit des elektrischen Fahrbetriebs zu nutzen, ohne die Hürde der Anfangsinvestition für das Oberleitungssystem überwinden zu müssen, werden immer wieder Hybridantriebe diskutiert. Solche Hybridantriebe sind eine Kombination aus verschiedenen Antriebs-, Energiespeicher- und Energieumwandlungssystemen. Bei Hybridfahrzeugen wird zwischen den beiden Grundformen eines seriellen und parallelen Hybrid unterschieden (vergleiche nachfolgende Abbildung). Mischformen versuchen die Vorteile beider Systeme zu verbinden.

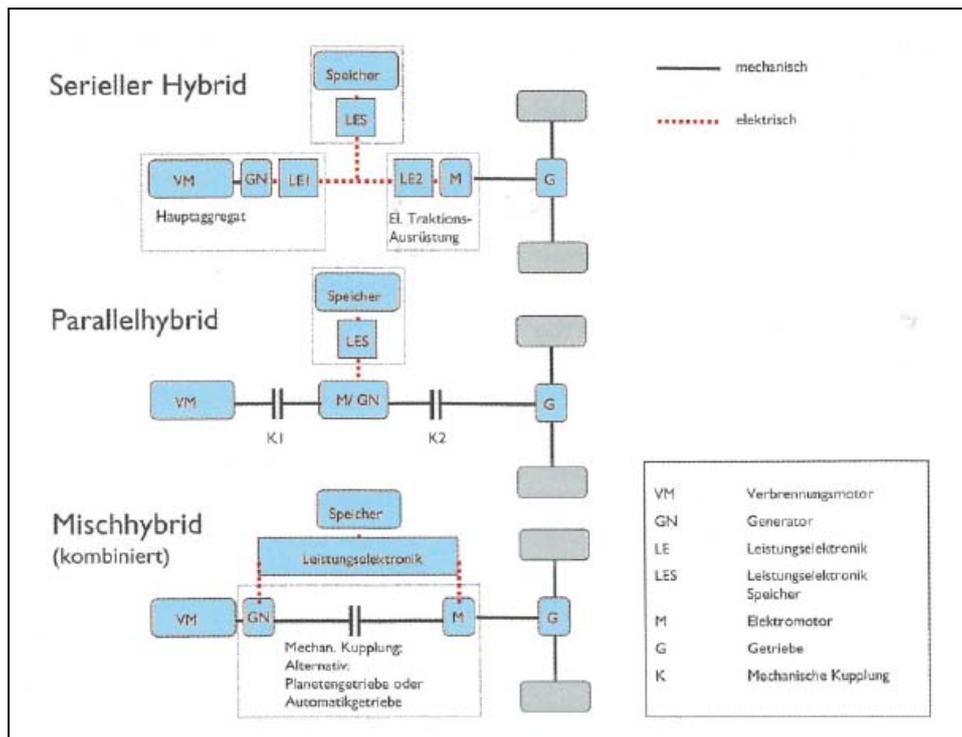


Abb. 22: Struktur der Hybridvarianten [53]

Der serielle Hybrid hat einen elektrischen Antriebsstrang sowie einen dieselektrischen Generator. Der Generator wird stationär im optionalen Arbeitspunktbetrieb betrieben und speist über eine Leistungselektronik verzweigt die Batterie und den elektrischen Antrieb. Bremsenergie rückgewinnung und Speicherung dieser Energie in der Batterie sind möglich. Bei Parallelhybrid gehen Verbrennungsmotor und elektrischer Motor / Generator gemeinsam auf den Antriebsstrang, wobei je nach Betriebszustand die eine oder andere Antriebsart überwiegt. Der wohl bekannteste Mischhybrid, der mit einem Planetengetriebe beide Motortypen auf den Antriebsstrang bringt, ist der Toyota Prius. Die Diskussion um Hybridantriebe wurde stark von diesem Fahrzeug beeinflusst.

Bei der Energiebilanz, wenn die gesamte Kette von der Energiequelle bis zum Antrieb am Rad berücksichtigt wird, schneidet der Hybridbus im Vergleich zum netzgebundenen Obus schlechter ab und ist nur aus Gründen lokaler Emissionsfreiheit überhaupt in Betracht zu ziehen [54]. Verwendet man anstelle dieselektrischer Stromgeneratoren Wasserstoff in Brennstoffzellen, so ist dies aus Energie- und Emissionsbilanzgründen nur sinnvoll, wenn Wasserstoff als Abfallprodukt chemischer Industrieprozesse abfällt. Eine eigene Wasserstoffherzeugung mit elektrischem Strom scheidet schon aus Gründen des niedrigen Wirkungsgrades der Elektrolyse von Wasser und des noch lange Zeit bestehenden stark CO₂-lastigen Energiemix zur Gewinnung von elektrischer Energie aus.

4.3. Energiespeichersysteme

Abb. 23 ordnet Energiespeichersysteme nach Energie- und Leistungsdichte, denn nicht nur die absolute Menge gespeicherter (elektrischer) Energie sondern auch eine möglichst (kurze) Zeit in der diese Energie zur Verfügung gestellt bzw. aufgenommen werden kann ist ein entscheidendes Merkmal für die Verwendung des Speichers in einem Hybridfahrzeug.

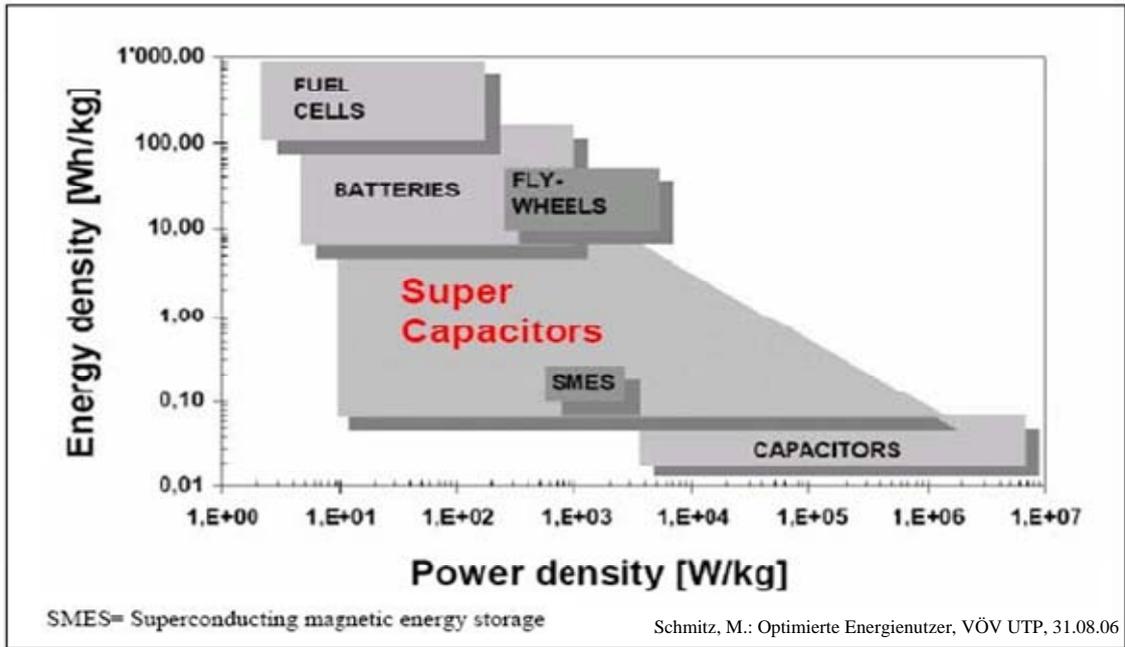


Abb. 23: Energiedichte-Leistungsdichte-Diagramm für elektrische Speichermedien [55]

Beachtet man noch die Energiespeicherdichte pro Gewicht, so stellt man fest, dass alle Speicher unter großen Einschränkungen an Gewicht und Volumen leiden. Daraus lässt sich ableiten, dass vieles für eine netzgebundene Lösung spricht.

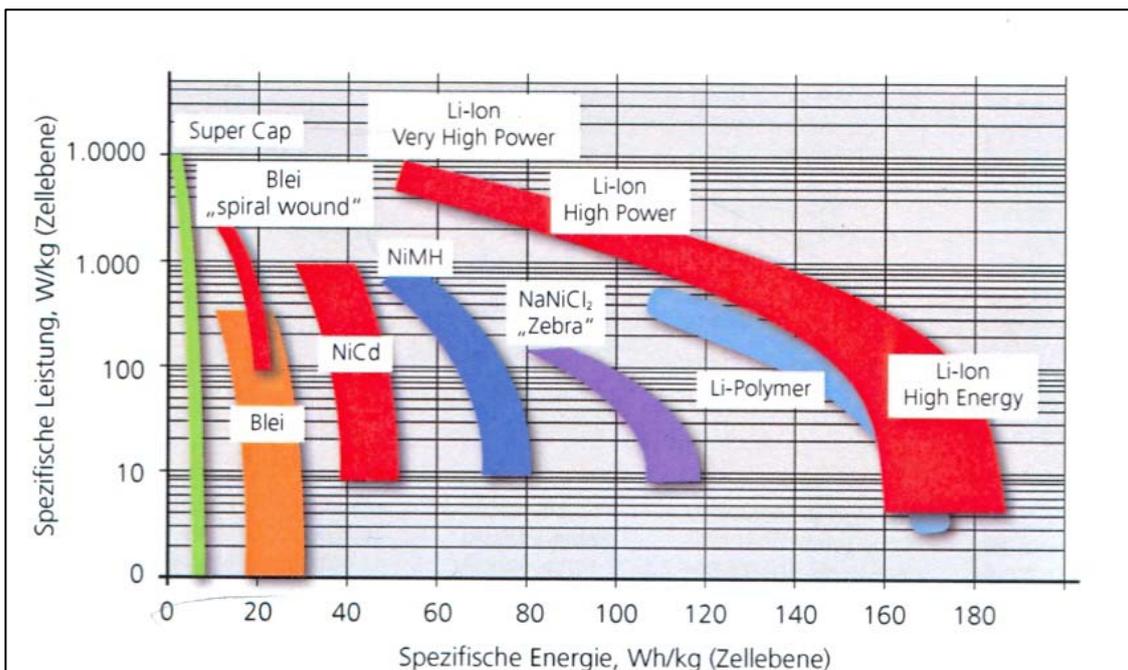


Abb. 24: Spezifische Leistungs- und Energiedicht moderne Stromspeichersysteme [56]

4.3.1. Das Supercap Experiment in der Obusstadt Solingen



Abb. 25: Obus mit Supercaps [57]

Abb. 25 zeigt den für ein Speicherexperiment mit Supercaps umgebauten Solo-Obus 42 der Stadtwerke Solingen. Die Supercap Ausrüstung besteht aus einem 700 Volt Paket aus 288 Supercaps in Serie mit einer Gesamtkapazität von 9,1 F. Der einzelne Kondensator hat 2600 F bei 2,5V. Das Paket hat eine nutzbare Energie von 0,5 kWh. Viel wichtiger aber ist die aufnehmbare und abgebbare Leistung von 270 kW. Diese steht für die kurzfristige Bremsenergieaufnahme oder als Anfahrhilfe zur Verfügung und ordnet die Superkondensatoren in eine Energieleistungsdichte weit jenseits von Batterie, Schwungradspeicher oder Brennstoffzelle ein.

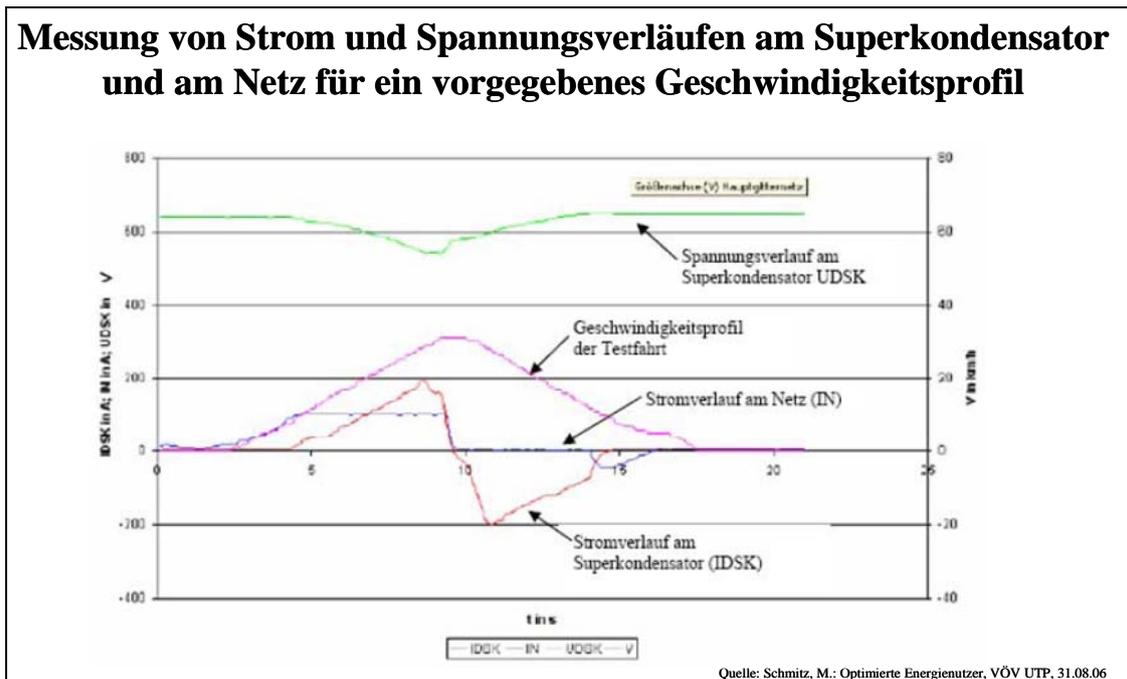


Abb. 26: Strom und Spannungsverläufe am Superkondensator [58]

Schnelle Energieaufnahme und –abgabe sind die Leistungsmerkmale der Superkondensatoren. Abb. 26 zeigt die Strom- und Spannungsverläufe am Superkondensator und am Oberleitungsnetz. Man erkennt die ausgleichende Wirkung des mitgeführten Superkondensators. Der Vorteil ist in diesem Ausgleich zu sehen, was Auslegung der Fahrleitungsdimensionierung der Unterwerke anlangt. Für fahrdrahtfreien Betrieb sind die mitgeführten Superkondensatoren nur auf kurzen Strecken einsetzbar. Für längere fahrdrahtfreie Strecken muss auf ein (Diesel-) Notstromaggregat oder andere leistungsfähige Energiequellen verwiesen werden. Für einen solchen Anwendungsfall ist die Energiespeicherdichte ausschlaggebend, nicht die Energieleistungsdichte. Hier ist eine andere Optimierungsstrategie angesagt.

4.3.2. Superkondensatoren der nächsten Generation

Die in der europäischen COST-Action 542 zusammengefassten Experten arbeiten an zukunftsfähigen Superkondensatoren, die keine aufwendige Balancierung der einzelnen zum Paket zusammengefassten Kondensatoren notwendig machen und auch im Falle des Abbrennens der Kondensatoren kein Dioxin freisetzen. Dafür bieten sich geschichtete Kondensatoren an, die KaOH als (wässrigen) Elektrolyt einsetzen und mit hochporösen Kohlenstoffelektroden die entsprechende hohe Kapazität realisieren (vgl. Abb. 27).

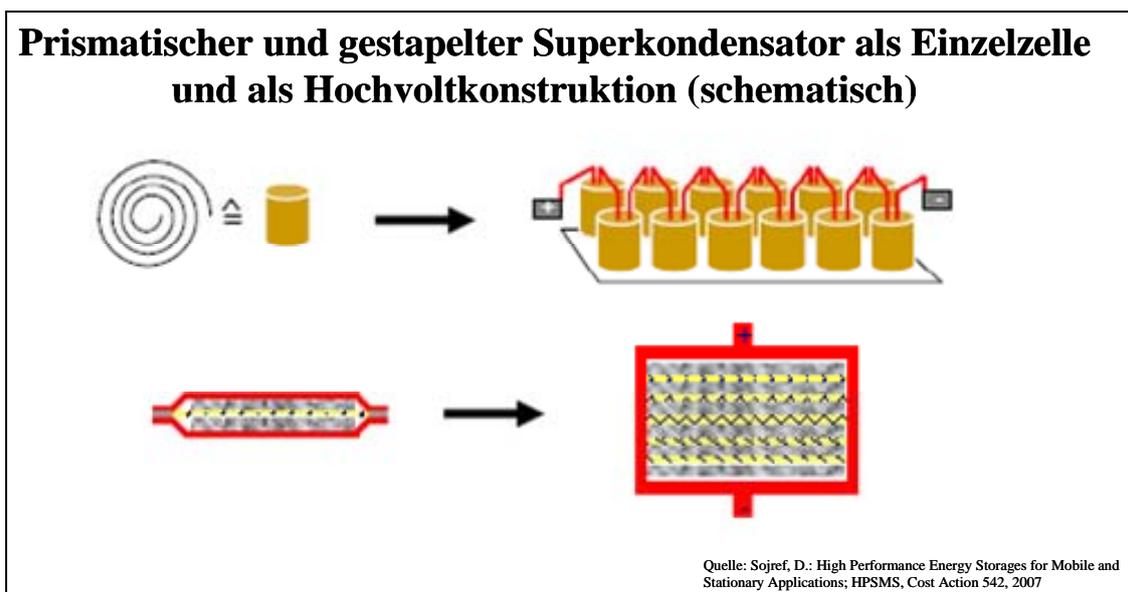


Abb. 27: Prismatischer und gestapelter Superkondensator [59]

Solche Kondensatoren wurden zunächst in den Unterwerken von U-Bahnen (etwa in Moskau) zum Abfangen der Einspeisestromspitzen und Nachfragespitzen eingesetzt. Mittlerweile sind sie schon für den mobilen Einsatz erhältlich [60] und bieten sicher eine interessante Alternative zu den derzeit vor allem von der kalifornischen Firma Maxwell angebotenen. Diese Doppelschicht Kondensatoren arbeiten mit Elektroden aus porösem Kohlenstofffasern in Aluminiumfolie gewickelt und als Elektrolyt Tretrachthylammonium und Tetrafluoroberate in einem Acetonnitrit Lösungsmittel (hier liegt die Ursache für die gefährliche Dioxin-Bildung im Falle des Abtrennens)

4.3.3. Elektrobusse in Shanghai (EXPO, Innenstadt)

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die zu Beginn des Kapitels 4.3 aufgeführten Nachteile mobiler elektrischer Energiespeichersysteme dadurch zu überwinden, dass kleine schnelle Speicher (Batterie + Superkondensator) innerhalb der Fahrzeuge an den jeweiligen

Haltestellen für ca. 30 Sekunden aufgeladen werden, um so einen elektrischen Linienbusbetrieb entlang einer Kette von Haltestellen zu ermöglichen. Der jüngste Versuch dazu sind die Linie 11 sowie der EXPO-Shuttlebusbetrieb in Shanghai. Abb. 29 zeigt eine Haltestelle der Linie 11 im Zentrum von Shanghai und die angelegten Stromabnehmer (Abb. 30). Ein Blick auf die EXPO-Shuttlebusflotte zeigt, was derzeit technisch bei modernen Elektrobussen möglich ist: ein moderner schnellladefähiger Bus, ein batterieelektrischer Bus und ein Hybridbus mit seriellem Hybrid aus elektrischen Antriebsstrang und dieselelektrischem Stromgenerator (Abb. 28).

Den aufgeführten Elektrobussystemen bleibt gemeinsam, dass sie nur für begrenzte Anwendungen wie zum Beispiel Messebusse oder kurze Innenstadtlinien geeignet sind.



Abb. 28: Elektroshuttlebusse auf der EXPO [61]

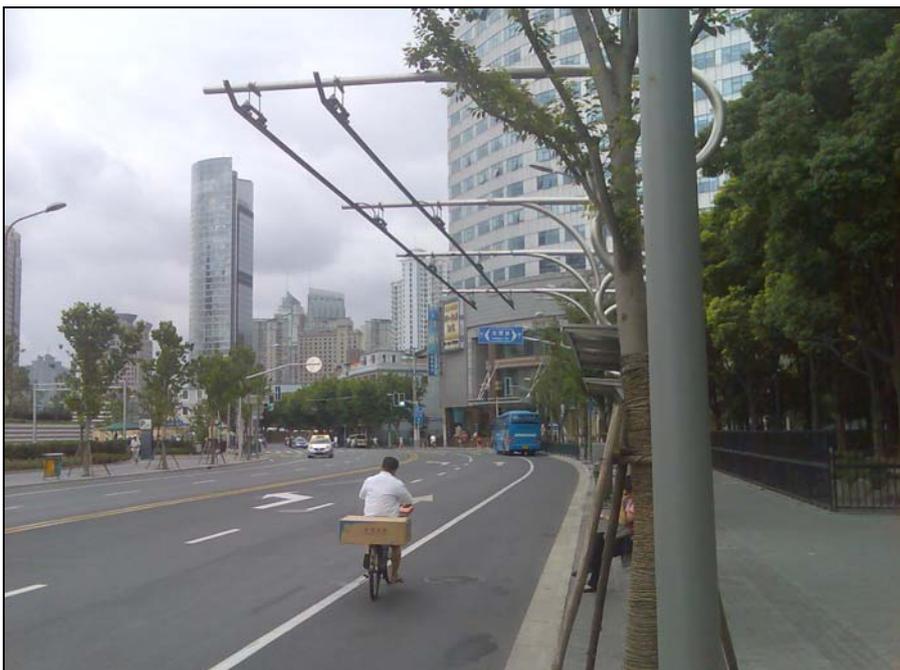


Abb. 29: Oberleitung der Linie 11 in Shanghai [62]



Abb. 30: Angelegter Stromabnehmer der Linie 11 in Shanghai [63]

5. Kostenvergleich an ausgewählten Beispielen

Zur Kostenabschätzung für die Einführung von Straßenbahn-/ Stadtbahn- oder Busbahnsystemen soll im Folgenden ein grobes Mengengerüst aufgelistet werden. Die Zahlen beruhen auf Untersuchungen für Straßen-/ Stadtbahnverlängerung in Ulm, auf Betreiberanalysen für die Obus Systeme Solingen und Eberswalde und auf groben Schätzungen aus Herstellerangaben. Belastbare Zahlen sind einer genauen Machbarkeitsstudie vorbehalten und würden den Rahmen der vorliegenden Untersuchung sprengen.

Die Kosten teilen sich auf in Aufwendungen zur Erstellung der Streckeninfrastruktur, zur Beschaffung der Fahrzeuge und zur Betriebsführung [64].

Im Einzelfall sind dies:

- Planungs- und Bauvorbereitungskosten, die mit etwa 10% der gesamten Investitionskosten anzusetzen sind,
- Ggf. Kosten für Grunderwerb,
- Investitionen im Bereich Tiefbau (z.B. Verlegung von Leitungen)
- Kosten des ÖV-Fahrwegs,
- Kosten für die Fahrstromversorgung,
- Neuordnungs- und Neugestaltungskosten des Straßenraums,
- Kosten für Betriebsleittechnik,
- Investitionen in Fahrzeuge und
- Betriebshofanlagen

Zur Abschätzung dieser Kosten für die Errichtung einer Straßen-/ Stadtbahn sollen Auszüge aus der für die Genehmigung der Verlängerung der Straßen-/ Stadtbahn Ulm erarbeiteten standardisierten Bewertung dienen. Die 4,5 km lange Erweiterungsstrecke und die notwendigen Neuanschaffungen sind, wo es möglich war, in Kosten pro Strecken-km umgerechnet.

5.1. Kosten Straßen-/ Stadtbahn

Für den ca. 4,6 km langen Straßen-/ Stadtbahnausbau in Ulm liegen (1) Vorhaltekosten Fahrweg und ortsfeste Einrichtungen (2) Vorhaltekosten Fahrzeuge und (3) Betriebskosten vor und können entsprechend hochgerechnet werden.

Tab. 16 zeigt, dass mit Investitionskosten für die Strecke von rund 3,6 Mio. €/km und Unterhaltskosten (inkl. des zugehörigen Kapitaldiensts für längerfristige Unterhaltsanschaffungen) nur rund 0,24 Mio. €/km auf den Kilometer gerechnet werden muss. Hinzu kommen die Anschaffungskosten für die Fahrzeuge (inkl. einer 20%-igen Fahrzeugreserve) von rund 2,0 Mio. €/Stück, was bei einem Kauf von 10 Combinos und einer Abschreibungsdauer von 25 Jahren einem Kapitaldienst für Zins und Tilgung von rund 1,1 Mio. €/Jahr entspricht (vgl. Tab. 17).

Dabei ergibt sich eine Laufleistung für die 10 Combinos (unter Berücksichtigung der 20%igen Reserve) von rund 680.000 km/Jahr.

4,6 km Ausbau	Ausbaukosten/km
	T€
Investitionskosten zur Realisierung des Vorhabens (inkl. 10% Planungs- und Vorbereitungskosten)	3.600
Vorhaltungskosten	T€/Jahr/km
Kapitaldienst	160
Unterhaltungskosten	80
Summe Vorhaltungskosten	240

Tab. 16: Investitions- und Vorhaltungskosten Fahrweg und ortsfeste Einrichtungen [65]

Fahrzeugtyp	4,6 km Ausbau					
					Unterhaltungskosten	
	Fahrzeugbedarf ohne Reserve	mit Reserve	Kapitaldienst	Laufleistung	Laufleistungsabhängig	zeitabhängig
	Anzahl	Anzahl	T€/Jahr	km	T€/Jahr	T€/Jahr
Combino	8	10	1.100	680.000	400	190

Tab. 17: Fahrzeugbedarf; Kapitaldienst Fahrzeuge ; Laufleistungs- und zeitabhängige Unterhaltskosten [66]

Dabei geht man von einer Fahrzeugreserve von ca. 20% aus. Die Betriebskosten sind in Tab. 17 dargestellt und teilen sich in Energiekosten und Kosten für Fahrpersonal auf.

Zur Abrundung der Kostenberechnung sind Tab. 18 und Tab. 19 Angaben über Energiekosten und Kosten für den Personaleinsatz zu entnehmen, die in Ulm mit 0,26 €/Fz-km und 32 €/h angesetzt werden.

	Betriebsleistung	Energiekosten je Fz-km	Energiekosten gesamt
	Fz-km/ Jahr	€/ Fz-km	T€/Jahr
SWU-Combino	680.000	0,26	rund 180

Tab. 18: Energiekosten im Zusammenhang Straßen-/ Stadtbahnausbau [67]

	Fahrstunden/ Jahr	Kostensatz Fahrpersonal	Kosten gesamt Fahrpersonal
	h/ Jahr	€/h	T€/ Jahr
SWU-Combino	39.000	32	rund 1250

Tab. 19: Kosten Fahrpersonal im Zusammenhang Straßen-/ Stadtbahnausbau [68]

Zusammenfassen kann festgehalten werden, dass rund 4 Mio. €/km und 2,0 Mio. Anschaffungskosten pro Fahrzeug als untere Eckwerte (bei einfachen Umfeldbedingungen, wie z.B. am Stadtrand von Ulm) für den Ausbau eines bestehenden Systems zu veranschlagen sind. Bei einer Neueinführung des Systems Straßen-/ Stadtbahn erhöhen sich die Kosten aufgrund von zusätzlichen Fixkosten (z.B. Betriebshof, Werkstätten, Stromversorgung, Umbauten im Straßenraum) entsprechend. Es gilt die Faustregel 10 Mio. €/km bei eigener Trassenführung.

Die auffallend geringen Ausbaurkosten in Ulm von 4 Mio. €/km erklären sich durch den von der Straße unabhängig realisierbaren Aufstieg vom Donautal und Böfingen entlang der Böfinger Halde wo naturraumbedingt ein eigener Gleiskörper mit geringeren Kosten gebaut werden kann. Ebenso war ein größerer Umbau der Gehwege zum Bau der Gleistrasse in Böfingen selbst weitgehend überflüssig. Unter anderen Randbedingungen können sich aufgrund eines eventuell notwendigen Umbaus der gesamten Straßen- und

Gehwegstruktur die Kosten bis zu 20 Mio. €/km oder mehr addieren. Entscheidend für den tatsächlichen Kostenaufwand ist die spezifische Straßensituation vor Ort. Als erste grobe, kalkulatorische Kostenschätzung erscheint ein Wert von 10 Mio. €/km als ein vernünftiger Ansatz, der dann im Weiteren auf die jeweilige Trassenführung angepasst werden muss [69].

5.2. Kosten Obus

Beim Obussystem wird für den Kostenvergleich auf Zahlen aus Solingen, der Schweiz, Salzburg und Landskrona (Schweden) zurück gegriffen. Dabei werden zur besseren Vergleichbarkeit die Kosten für die Dieselbussysteme und das Obussystem in € pro Fahrzeugkilometer angegeben. Die Oberleitungsnetzinvestitionskosten werden über die Laufleistung aus der Gesamtstreckenlänge und der Taktfolge in Kosten pro Fahrzeugkilometer umgerechnet.

Spezifische Kosten je km in € (2006)	Obus (Strom)	Obus (Strom/ Energierückgewinnung)	Normal-Bus (Diesel)
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 €
Summenindex	1,0	0,93	0,96

Tab. 20: Ökonomische Aspekte Vergleich Obus/ Normal-Bus – Solingen [70]

Der Personalaufwand wurde in Solingen nicht ermittelt, da er bei einem Vergleich zwischen Diesel- und Obus neutral ist (ähnliche Personalkosten für den Betrieb beider Systeme).

Es ist festzustellen, dass sobald die Bremsenergieerückgewinnung, die die Betriebskosten um ca. 1/3 (von 0,23 auf 0,15 € pro Fahrzeugkilometer) reduziert, das Obussystem in Solingen am kostengünstigsten ist. Dieses setzt jedoch ein aufnahmebereites Oberleitungsnetz voraus. Der Index des Obussystem mit Bremsenergieerückgewinnung beträgt 0,93 gegenüber einem Index von 1,0 bei einem System ohne Bremsenergieerückgewinnung. Bei einem Dieselbus liegt der Index bei 0,96.

	Normal-Bus (Diesel)	Obus (Strom)
	€ pro Fahrzeug-km	
Betriebskosten (ohne Management)	0,27	0,33
Oberleitung	0,00	0,27
Feste Betriebskosten (gesamt)	0,27	0,60
Kraftstoff / Energiekosten	0,20 – 0,25	0,20 – 0,23
Andere variable Kosten	0,47	0,47
Variable Betriebskosten (gesamt)	4,33 – 4,39	4,33 – 4,36

Betriebskosten (gesamt)	4,60 – 4,65	4,93 – 4,96
-------------------------	-------------	-------------

Tab. 21: Kostenvergleich Obus/ Dieselbus Schweiz [71]

Auffallend an der Kostenaufstellung für die Schweiz ist das vergleichsweise hohe Preisniveau.

	Gelenk-Obus	Gelenk-Obus (Hilfsmotor)	Gelenk-Dieselbus
Fahrzeugalter (Jahren)	20	20	13
Feste Kosten (Fahrzeugkosten)	0,82	0,88	0,74
Kapitalkosten (jährliche)	0,74	0,80	0,66
Versicherungen	0,08	0,08	0,08
Variable Kosten	0,59	0,59	0,83
Energie	0,16	0,16	0,43
Instandsetzung inkl. ILV	0,43	0,43	0,40
Infrastruktur	0,23	0,23	0,01
Gesamt (inkl. Infrastruktur)	1,64	1,70	1,58
Gesamtkosten (exkl. Gleichrichter und Oberleitung)	1,41	1,47	1,57

Tab. 22: Kostenvergleich je gefahrenem Kilometer in € - Obus/ Dieselbus Salzburg [72]

Für Salzburg weisen die Kosten für Obus und Dieselbus einen Index von 1,64 und 1,58 auf. Ohne eine Abschreibung für die Unterwerke und Oberleitung liegt der Obus Index bei 1,41. Falls der Obus bei Überlandstrecken fahrdrahtfrei geführt wird und auf ein leistungsfähiges mitgeführtes Notstromaggregat angewiesen ist erhöht sich der Index von 1,64 auf 1,7.

Jährliche Kosten (€/km)	Dieselbus	Obus	Optimierter Obus
Infrastruktur	0	0,72	0,43
Fuhrpark	0,47	0,70	0,55
Kraftstoff / Energie	0,28	0,12	0,12
Betrieb	1,62	1,86	1,55
Gesamt	2,37	3,40	2,65

Tab. 23: Kostenvergleich Obus/ Dieselbus Landskrona [73]

TrolleyMotion hat die entsprechenden Zahlen für Landskrona in Schweden zusammengestellt. Hier wird von vorneherein mit einer Bremsenergie rückgewinnung gerechnet. Die Kosten des Fahrzeugbestandes sowie der Oberleitung werden sowohl mit als auch ohne Optimierungspotential ermittelt. Der Index für den Dieselbus ist mit 2,37 im Vergleich zu 2,65 für das optimierte Obussystem immer noch etwas günstiger.

Es zeigt sich, dass bei einem generellen Vergleich zwischen Diesel- und Obus keine eindeutige Aussage zugunsten des einen oder anderen Systems möglich ist. Beide Systeme sind aus reinen Kostengesichtspunkten austauschbar. Die Vorteile eines elektrischen Antriebs müssen also vor allem bei der lokalen Schadstofffreiheit und bei der Geräuschar-

mut gesucht werden. Die schon mehrfach angeführten Sichtbarkeit einer nachhaltigen Entwicklungsachse, durch die „Schienen am Himmel“, sind ein weiterer Pluspunkt für das Obussystem. Strengere Schadstoffauflagen und reduzierte Lärmpegel sind zu erwarten (siehe Einleitung), so dass die Investitionen in ein Obussystem vor allem unter dem Aspekt „zukunftsfest“ gesehen werden müssen.

5.3. Kostenvergleich neuzeitlicher Straßenbahn-/ Stadtbahn- und Busbahnsysteme

Der Ulmer Straßen-/ Stadtbahnausbau, als unterer Eckwert, ordnet sich im Folgenden in einen systematischen Vergleich moderner Straßen-/ Stadtbahn- und Busbahnsysteme ein, der in Tab. 24 zusammen gestellt ist. Die Zusammenstellung stammt aus unterschiedlichen Quellen und spiegelt eine beachtliche Bandbreite der Kosten pro Streckenkilometer wider.

Als Gründe dafür sind die jeweiligen spezifischen Rahmenbedingungen zu nennen. Dennoch bleibt die generelle Frage, ob spurgeführte Systeme, gummibereitete Systeme oder straßenbündige Stromzuführungssysteme wirklich den Mehraufwand lohnen.

Geübte Fahrer, die eine Spurführung überflüssig machen, sowie stark limitierte spezifische Einsatzfelder (enge Brücken oder Tunnels, Haltestellenanfarten) deuten auf eine geringe Notwendigkeit für spurgeführten Systemen hin. Ebenso erscheint eine oberleitungsfreie Stromzufuhr nicht lohnend, wie die Beispiele für geringe optische Beeinträchtigung durch filigran geführte Oberleitung zeigen (zum Beispiel: Straßburg und Lyon). Darüber hinaus ermöglicht die Installation eines Oberleitungsnetzes, wie z.B. im Falle eines Busbahnsystems, eine elegante und effiziente Bremsenergie rückführung an andere Fahrzeuge oder Verbraucher, unter Verzicht auf mitgeführte, schwere Batterien und/oder voluminösen Superkondensatoren. Die Oberleitung, als Hinweis auf nachhaltige Stadtentwicklungsachsen hat sich selbst in Salzburg, einer Stadt mit einer zum Weltkulturerbe gehörenden Innenstadt, bewährt und widerlegt die oft ins Feld geführten ästhetischen Einwände.

Stadt	System	Kosten in EUR/ Strecken-km	Besonderheiten
Bordeaux	Straßen-/ Stadtbahn	23 Mio. *****	Straßenbündige Stromzuführung
Straßburg	Straßen-/ Stadtbahn	20 Mio.	k.A.
Nancy	Busbahn (GLT/ TVR)	19 Mio.	Spurführung an Monoschiene
Freiburg	Straßen-/ Stadtbahn	10 Mio.	Durchschnittspreis über einfache und aufwändige Installation
Clermont-Ferrand	Gummibereifte Straßen-/ Stadtbahn	18 Mio.	System Translohr
Venedig	Gummibereifte Straßen-/ Stadtbahn	17 Mio. ****	System Translohr
Nantes	Busbahn	7 Mio.*	
Castellón	Busbahn (Obus)	4 Mio.**	Ohne Fahrzeuge

*Garrigue 2007; **Budach 2007; ***FGSV 2008; ****Stadtverkehr März 04; *****Die sehr hohen Kosten in Bordeaux sind zu einem Teil auf die hier zur Vermeidung einer Fahrdrahtanlage verwendete straßenbündige Stromzuführung zurückzuführen. Die Kosten für straßenbündige Stromführungssysteme sind mit 1,5 Mio. Euro pro Strecken-km etwa dreimal so hoch wie für Fahrdrahtanlagen (vgl. Christeller 2006). Das für nicht spurgeführte Fahrzeuge entwickelte System einer straßenbündigen Stromzuführung STREAM ist nach technischen Problemen nicht mehr auf dem Markt (Vana 2008)

Tab. 24: Investitionskosten, ausgewählte Beispiele [74 / 75 /76]

Tab. 25 zeigt einen Kostenvergleich für Fahrzeuge eines neuzeitlichen Straßen-/ Stadt- und Busbahnsysteme sowie eine Kostenabschätzung für Standardgelenkbusse. Genaue Zahlen für ein Obussystem liegen für Eberswalde vor [77]. Dort belaufen sich die Kosten für einen neu in Betrieb genommen Gelenkibus auf 0,55 Mio. € und bewegen sich damit im gleichen Kostenrahmen wie in Tab. 25.

Typ/ Fahrzeug	Kosten in Euro	Beispielstadt
Doppelgelenkbus	0,4 Mio.	Utrecht
Standardgelenkbus	0,3 Mio.	Nantes
Gelenkibus	0,5 - 0,7 Mio.	-
Doppelgelenkbus	Ca. 1 Mio.	-
Civis	0,8 Mio.	-
Gummibereifte Straßen- / Stadtbahn	1,5 Mio. – 2,1 Mio.*	Clermont-Ferrand
Straßen-/ Stadtbahn Alstom Citadis	1,6 Mio.	-

*Kühn 2007

Tab. 25: Kosten für Fahrzeuge im Vergleich: Überblick [78]

5.4. Kleine Marktübersicht für Anbieter von Busbahnsystemen

Im Gegensatz zur einschiene spurgebunden Straßen-/ Stadtbahn auf Gummireifen von Translohr gibt es auf dem Gebiet der Busbahnsysteme als netzgebundene Obusse verschiedene Anbieter. Zu nennen sind dabei:

- Carrosserie Hess Ag, Schweiz**
 Nach Eigenwerbung steht HESS weltweit für leidenschaftlichen Fahrzeugbau – für effiziente, umweltfreundliche und zuverlässige Mobilität. In die Produktpalette gehören Klein-, Trolley- und Linienbusse in verschiedensten Grössen und Ausführungen bis zu Doppelgelenkbussen und lighTrams®, Buszüge, das Baukastensystem CO-BOLT® sowie Nutzfahrzeuge [79].
- Viseon, Deutschland (vormals Neoplan / MAN)**
 Nach Eigenwerbung ist VISEON ein echter Fahrzeughersteller, der sich auf Omnibusse spezialisiert hat und über hohe Entwicklungskompetenz im eigenen Haus verfügt, da die Entwicklungsmannschaft aus namhaften Omnibus-Spezialisten besteht, die ihre Erfahrungen bei MAN und NEOPLAN erworben haben. Im Fokus von Viseon liegen Reisebusse, Flughafenvorfeldbusse, elektrisch angetriebene Busse und tief gehende Individualumbauten von existierenden Serienmodellen [80].
- Van Hool, Belgien**
 Nach Eigenwerbung baut Van Hool heute eine vollständige Reihe von integralen Stadt- und Reisebussen sowie Nutzfahrzeugen, welche nach dem Prinzip der modularen Konstruktion entwickelt und produziert werden. Der Karosseriebau, welcher die Grundlage des Betriebes war, ist auch heute noch eine wichtige Aktivität. Dadurch kann, in Zusammenarbeit mit den großen Fahrgestellherstellern, weltweit operiert werden. Sowohl die Omnibus- als die Nutzfahrzeugabteilung verfügen über einen eigenen Forschungs- und Entwicklungsdienst. Nicht nur

Fahrzeuge werden entworfen und getestet, sondern es wird auch eine ständige Optimierung und Modernisierung des Maschinenparks angestrebt [81].

und neu mit deutschem Management und polnischer Eigentümerschaft:

- **Solaris, Polen**

Nach Eigenwerbung zählt Solaris zu den führenden Herstellern der europäischen Omnibusbranche und bietet eine breite Palette an modernen Stadtbussen, Überlandbussen, Oberleitungsbussen, Bussen für spezielle Einsatzzwecke und Straßenbahnen [82].

Die notwendige Elektroausstattung der Busse liefert Vossloh-Kiepe (Deutschland) oder Cegelec (Frankreich). Die Oberleitungen werden von Kummner & Matter (Schweiz) und dem deutschen Unternehmen GEA geliefert.

Viseon hat mit dem Obussystem für Saudi Arabien das zurzeit wohl spektakulärste Busbahnsystem weltweit entwickelt (vg. Abb. 31).



Abb. 31: Viseon Obus für Saudi Arabien [83]

Solaris als wohl am meisten etablierter Neueinsteiger beliefert die Städte Salzburg und Eberswalde, zwei sehr kritische Abnehmer von Obussystemen. Die starken Notstromaggregate dieser Busse erlauben einen fahrdrahtfreien Betrieb mit beachtlichem Ausmaß.

Hess und Van Hool bauen Doppelgelenkbusse. Es wird erwartet, dass die andere Hersteller auf diesem Gebiet nachziehen, was zu einem regen Wettbewerb in diesem Segment führt.

6. Moderner öffentlicher Personenverkehr und Stadtentwicklung

Das vordergründige Ziel aller Ausbaumaßnahmen des öffentlichen Verkehrs ist eine Verlagerung des Verkehrsaufkommens von motorisiertem Individualverkehr auf die öffentlichen Verkehrsmittel und auf den Umweltverbund öffentliche Verkehrsmittel, Fuß- und Radverkehr. Die Schwierigkeit einer quantitativen Bewertung der Verlagerungseffekte bestehen darin, dass eine gewisse Eingewöhnungszeit an das neue öffentliche Verkehrsangebot berücksichtigt werden muss und dass Veränderungen in Modal Split im Wesentlichen durch Befragungen und nicht durch quantitative Messgrößen belegt werden können. Eine Ausnahme bilden sicher jährlich wiederkehrende Erhebungen zu Fahrgastzahlen und Erhebungen zur Pkw-Besitzerquote im Umfeld der Trassen des öffentlichen Verkehrs.

6.1. Fahrgastzuwächse aus Straßen-/ Stadtbahneffekt

Mit der Umstellung der meterspurigen Gelenkstraßenbahn auf eine echte Straßen-/ Stadtbahn mit erhöhtem Sitzplatzangebot, Normalspur, weitgehend eigener Trasse und markant ausgebauten Haltestellen Ende der 1980er Jahre am Beispiel der Linie 6 von Vaihingen nach Gerlingen ist in Stuttgart der positive Straßen-/ Stadtbahneffekt anhand von Fahrgastzählungen quantitativ nachgewiesen. Die nachfolgende Abbildung zeigt Fahrgaststeigerungen von 60% auf der Stammstrecke zwischen Olgaeck und Pragsattel.

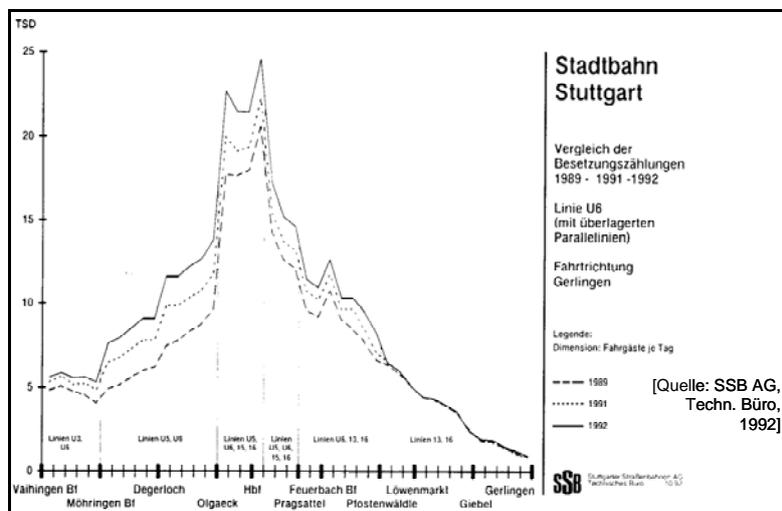


Abb. 32: Fahrgastzuwächse aus Straßen-/ Stadtbahneffekt [84]

Hass-Klau et al. haben eine Reihe von Modal Split Erhebungen für Städte mit Straßen-/ Stadt- oder Busbahnsystemen zusammengetragen [85]. Die durchschnittlich etwas mehr als 3 Wege / Person / Tag teilten sich zum Beispiel 1980 in Nants in 46% motorisierten Individualverkehrs, 14% öffentlichen Verkehr, 27% zu Fuß gehen und 13% Radverkehr auf. Nach Einführung der Straßen-/ Stadtbahn und des BusWay haben sich diese Zahlen Ende der 1990 Jahre zu 57% motorisiertem Individualverkehr, 15% öffentlichen Verkehr, 24% zu Fuß gehen und 4% Radverkehr über die Jahre geändert. Der allgemeine Trend der zunehmende Automobilität ist bei solchen Langzeiterhebungen sinngemäß abzuziehen und es bleibt der Effekt einer Veränderung des Modal Split zugunsten des öffentlichen Verkehrs sowie einer Fahrgaststeigerung durch ein verbessertes Angebot.

Dieses gilt besonders dann, wenn eigene Trassen und verbesserte Taktfolgen zu verzeichnen sind. Faustregeln hierfür sind schwer abzuleiten, aber Zuwächse im Modal Split zugunsten des öffentlichen Verkehrs sind stets zu verzeichnen. Die aufgeführten Beispiele, das Karlsruher Modell auf der Strecke von Karlsruhe nach Bretten und Stuttgart, zeigen, dass nach oben sehr viel möglich ist und sogar zusätzliche Verkehre mit den neuen Systemen induziert werden.

6.2. Verallgemeinerungen

Die Voraussetzungen für den oben beschriebenen Straßen-/ Stadtbahneffekt lassen sich schlagwortartig wie folgt zusammenfassen:

- eigene Vorrangtrasse
- kurze Taktfolgen
- hohe Designansprüche
- angemessene Tarife.

Diese Qualitätsmerkmale sind nicht an ein bestimmtes Transportsystem gebunden. Sie gelten für Busbahnsysteme und Straßen-/ Stadtbahnsysteme gleichermaßen, wie etwa die eindrucksvollen Fahrgastzuwächse des Bus Way Systems in Nantes zeigen. Dort wurden die südöstlichen Vororte nicht mit einer Straßen-/ Stadtbahn sondern mit einem gut verknüpften, dicht getaktetem Linienbussystem auf durchgehend eigener Trasse an das Zentrum angeschlossen. Die Steigerungsraten liegen hier sogar noch über denen der Straßen-/ Stadtbahnlinie in Nantes und belegen die Austauschbarkeit der Qualitätsmerkmale zwischen Busbahn- und Straßen-/ Stadtbahnsystem.

Was die Pkw-Besitzquote in 300 m Einzugsbereich der Busbahn- oder Straßen-/ Stadtbahnstrecken anlangt, so sind eindeutig geringere absolute Raten und Zuwachszahlen festzustellen. Ein scharfer quantitativer Nachweis ist allerdings schwierig [86].

6.3. Neue Konzepte zur Verkehrsberuhigung

Der zentrale Platz in Osnabrück, der Neumarkt mit rd. 28.000 DTV, ist für ein neues Konzept für den öffentlichen Verkehr, ob Straßen-/ Stadtbahn oder Busbahn, ein zentrales Hindernis. Jede Überlegung den öffentlichen Verkehrsmitteln mit einer eigenen Trasse Vorrang zu geben wird an der Auslage dieses Platzes in seiner bisherigen Form aber auch mit den in Aussicht genommenen Planungen scheitern. [87] Ein möglicher Ausweg neben der vollständigen Schließung des Platzes für den motorisierten Individualverkehr ist es, diesen Platz als „shared space“, als gemeinsam von verschiedenen Verkehrssystemen genutzten Raum unter der Prämisse der gegenseitigen Rücksichtnahme umzugestalten. Dazu werden die Verkehrsflächen des „shared space“ keiner bestimmten Nutzung zugewiesen und stehen grundsätzlich allen Verkehrssystemen offen. Eine optische Führung der unterschiedlichen Verkehre wird lediglich durch verschiedene Aufpflasterung angedeutet. Eine Stadt die als Vorbild dienen könnte ist Biel / Bienne in der Schweiz, als zentrale Stadt mit einem Einzugsgebiet von rd. 150.000 Personen in etwa mit Osnabrück vergleichbar.

Kann auf einer Kreuzung mit mehr als 10.000 Fahrzeugen am Tag eine Mischverkehrsfläche mit Vorrang für die Fußgänger und Radfahrer realisiert werden? Die Schweizer Stadt Biel / Bienne macht es am Zentralplatz vor. Zunächst wurde die Haltestelle des öffentlichen Verkehrs, der als Obus ausgestaltet eine gewisse Flexibilität hat, an die Zufahrtsstraße verschoben, dann wurde der nun größere Platz durch farbliche Belagsges-

taltung als gemeinsam genutzte Fläche ausgewiesen. Mit der Neugestaltung änderte sich auch das Selbstverständnis der Bewohner und Benutzer des Platzes und ein neues Cafe, an Stelle der früheren Bedürfnisanstalt, das als eigenes Gebäude in den Platz ragt, tut ein Übriges. Grosse Freiflächen und der Verzicht auf zu viele Mobilisierungselemente sorgen für eine gewisse Großzügigkeit, welche dem zentralen Charakter des Platzes entspricht – alles in allem ein gelungenes Beispiel für Verkehrsberuhigung ohne Verbauung einzelner Verkehrsteilnehmer.



Abb. 33: Zentralplatz Biel / Bienne [88]

Dass die Bedienung eines zentralen Platzes mit öffentlichen Verkehrsmitteln und die fehlende Reservierung von Verkehrsfläche für jeweilige einzelne Verkehrsarten kein Widerspruch sein müssen zeigt die Anlage in Biel / Bienne. Der flexiblen Nutzung des Platzes kommt dabei der Einsatz von Obussen entgegen, da diese Rangiermöglichkeiten unter dem Fahrdraht von rd. 3,50 m laterale Distanz haben.

	Osnabrück	Biel / Bienne
Einwohnerzahl [Ew]	ca. 165.000	ca. 50.000
Bevölkerungsdichte [Ew/km ²]	ca. 1365	ca. 2357
Fläche [km ²]	ca. 120	ca. 21
Stadtgliederung [Anzahl Stadt- bzw. Ortsteile]	23	10
Bildungseinrichtungen	Universität /Hochschule	Hochschule
Energieversorger / ÖPNV	Stadtwerke Osnabrück	Energie Service Biel/Bienne (ESB) Verkehrsbetriebe Biel VB)

Tab. 26: Städtevergleich Osnabrück – Biel / Bienne [89]

6.4. Auswirkungen von Straßen-/ Stadt- bzw. Busbahnsystemen auf Immobilien und Einzelhandel

Hass-Klau et al. [90] untersuchen sehr detailliert die Auswirkungen von Busbahnsystemen (BusWay) und Straßen-/ Stadtbahnsystemen auf Immobilienpreise und (Neu-) Bauaktivitäten entlang neu installierter Linien. Es zeigen sich keine Unterschiede bei Straßen-/ Stadtbahn- und Busbahnsystemen. Insbesondere das BusWay System in Routen, vergleichbar mit dem in Nantes, bestätigt dies. Überall steigen die Immobilienpreise entlang der neuen Strecke; es entstehen neue Wohnungen, Kunstgalerien, Universitätsgebäude,

Büros und Einzelhandel. Die Entwickler rechnen mit einer nachhaltigen Zunahme an Laufkundschaft und Kundschaft, die mit den öffentlichen Verkehr Wohnungen und Büros ansteuern.

Die Neubaumaßnahmen für eine Busbahnlinie, ebenso wie die für eine Straßen-/ Stadtbahn, sind als städtebauliche Sanierungsmaßnahmen im Sinne des §154 Bundesbaugesetz zu werten und gestatten nach diesem Gesetz die Wertabschöpfung. In Niedersachsen gibt es dazu entsprechende Verwaltungsvorschriften, die sinngemäß angewendet, auf eine Finanzierung der Maßnahme nach Art eines privat-öffentlichen Projekts (ppp Modell) hin geprüft werden sollten. (siehe dazu auch [91 / 92].

	Nutzenanteil [%]	Bemerkungen
Produktivitätseffekte und Kostenvorteile der regionalen Unternehmen	25	Verbesserter Anschluss an den regionalen und internationalen Markt
Umsatzsteigerungen und Kostensenkungen im Handel	5	Sicherere Laufkundschaft
Wertsteigerung von Wohnimmobilien	5	Attraktivere Wohnungen durch ÖV Anschluss (ggf.) Reduktion der eigenen Verkehrsaufwendungen
Entlastungseffekte für Autofahrer und Allgemeinheit	65	Reisezeitgewinn im ÖV und indirekt im IV
Insgesamt	100	

Tab. 27: Finanzierungsbeiträge von Drittnutzergruppen angelehnt an Quelle [93]

Die externen Nutzenanteile durch den Bau einer Straßen-/ Stadtbahn oder Busbahnlinie sind in Tab. 27 aufgeführt. Die Werte sind an Berechnungen von Baum et al. [94] angelehnt. Es ergibt sich, dass die ÖPNV Infrastruktur zu rund 1/3 durch die direkten Nutznießern und rund 2/3 von der Allgemeinheit über Steuern und Abgaben getragen werden sollten. Die Steuern und Abgaben müssten dazu zweckgebunden werden, was ohne weiteres möglich ist [95].

Eine weitere Finanzierungsquelle für Ausbaumaßnahmen des öffentlichen Personennahverkehrs könnte die Stellplatzabgabe sein. Diese Abgabe (länderspezifisch: Spanne ca. 5.000 € bis 10.000 €) wird erhoben, wenn nicht die vorgeschriebene Anzahl an Stellplätzen errichtet wird. Entsprechende Richtlinien gelten sowohl für Wohnungen (etwa ein Stellplatz pro Wohnung) als auch für Büro- und Geschäftsgebäude sowie Theater, Kino und anderen Veranstaltungsräumen. Die Verwendung dieser Gelder für Maßnahmen zur Verbesserung des öffentlichen Personenverkehrs ist in der niedersächsischen Bauordnung explizit vorgesehen [96].

7. Anwendungsmöglichkeiten und Empfehlungen für Osnabrück

Als Schlussfolgerung aus den aufgeführten neuzeitlichen Straßen-/ Stadt- und Busbahnsystemen, den Kosten- und Stadtstrukturvergleichen, den Infrastrukturaufwendungen und dem verkehrstechnischen sowie verkehrsplanerischen Umfeld werden im Folgenden Empfehlungen und Umsetzungsmöglichkeiten für die Stadt Osnabrück - mit ihren Wechselbeziehungen ins Umland - abgeleitet.

7.1. Neumarkt mit neuer Nutzung

Das aufgeführte Beispiel Biel zeigt, dass ein zentraler Platz mit ca. 10.000 Fahrzeugen pro Tag als durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen (DTV) bei gutem Willen aller Beteiligten als gemeinsam von Fußgängern, Radfahrern, öffentlichem Verkehr und (eingeschränktem) motorisiertem Individualverkehr genutzt werden kann. Die derzeitige Verkehrsbelastung von ca. 28.000 DTV am Neumarkt muss, schon um eine geeignete Vorzugsstrecke für den öffentlichen Verkehr im Zulauf zu realisieren, daher mindestens gedrittelt werden. Dieses gelingt mit einem konsequenten Park & Ride -Konzept, vergleichbar dem Konzept in Straßburg, das an allen außen liegenden Verknüpfungspunkten zwischen öffentlichem Verkehr und Individualverkehr Anlagen vorsieht. Ferner muss der Durchgangsverkehr (über den Neumarkt) auf den Ring aus Erich-Maria-Remarque-Ring, Goethering, Konrad-Adenauer-Ring, Johannistorwall, Schlosswall, Heger-Tor-Wall, Natruper-Tor-Wall und Hasetorwall geleitet werden. Weiterhin ist eine in jeder Hinsicht bevorzugte Behandlung des Umweltverbundes (Fahrradstellplätze, großzügig ausgebauten barrierefreie Haltestellen und Umsteigepunkte, Mitnahmemöglichkeiten von Fahrrädern) notwendig. Eine geeignete Parkraumbewirtschaftung und straßenbautechnische Einschränkungen für den Individualverkehr innerhalb des Stadtrings sind weitere Schritte zur Verkehrsberuhigung.

Nicht nur in Biel sondern auch in vielen anderen Städten kann gezeigt werden, dass durch eine gezielte Verkehrsberuhigung heutzutage Lebensqualität in den Innenstädten zurück gewonnen werden kann, wo noch vor wenigen Jahren das Auto alles verdrängte (z. B. Stuttgarter Schlossplatz in den 50er und 60er Jahren Hauptverkehrsplatz, heute Fußgängerzone).

Für die Ausgestaltung des Neumarkts als verkehrsberuhigter, von allen Verkehrsteilnehmern gleichberechtigt genutzter Platz (Shared Space) ist eine eigene Machbarkeitsstudie notwendig. Die derzeitigen Pläne zur Neugestaltung des Neumarkts bleiben hinter den etwa in Biel umgesetzten Maßnahmen weit zurück. Die Unterführung von der Johannisstraße kommend muss einer neuen Nutzung zugeführt werden. Es bietet sich an, Teile in die angrenzenden Kaufzentren einzubeziehen.

Dass schon heute unter völlig unzureichenden Bedingungen die Nutzung des Neumarkts durch den Umweltverbund aus Fußgängerverkehr, Fahrradverkehr und öffentlichem Verkehr erfolgt, zeigt die enorme Anzahl der abgestellten Fahrräder und die dem Druck der Nachfrage geschuldete notdürftige, aber extrem stark angenommene, oberirdische Fußgängerquerung [Abb. 34].



Abb. 34: Neumarkt Osnabrück [97]

Die Euphorie der 1970er Jahre für eine strikte Trennung von Kraftverkehr und Fußgängerkehr mittels z.B. Unterführungen ist gründlich vergangen. Der Umweltverbund hat die Innenstädte zurückerobert.

7.2. *Entwicklungsachsen*

Die festgefügtten Gegebenheiten aufgrund der naturräumlichen Gliederung des Stadtgebiets und der Zentren für Wohnen [**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**], Ausbildung, Einkaufen und Arbeiten legen die Entwicklungsachsen von Osnabrück fest [Abb. 36], so dass deren Beschreibung wenig Überraschendes enthält.

Ein Vergleich der Straßen-/ Stadt- und Obuslinien der 60er Jahre [Abb. 37] mit den heutzutage am stärksten genutzten Busstrecken (Buslinie 91/92, 71 und 21, Eisenbahnverbindung Eversburg – Hauptbahnhof [Abb. 38]) zeigt, dass die Streckenführung nahezu deckungsgleich ist.

Dieses führt dazu, dass detaillierte Streckenführungen von Straßen-/ Stadtbahn, S-Bahn oder auch Busbahnsystemen immer wieder auf gleiche bzw. ähnliche Entwicklungsachsen zurückgreifen.

50 Jahre Stadtentwicklung haben sich in der Ausdehnung der bedienten Gebiete, nicht aber in einer Veränderung der Hauptentwicklungsachsen niedergeschlagen. Die Schlussfolgerungen sind klar:

Für eine Busbahn, d. h. ein Obussystem, mit der Möglichkeit für eine eigene Trasse, mit einer hohen Taktfolge und mit der Bedienung der wichtigsten Zentren, bietet sich die Achse Heller – Belm (Linien 91/92 bzw. 71[Abb. 40].) an. In der Martinstraße, auf dem Neumarkt und in den Zulaufstrecken für diese Achse sind Maßnahmen für eine eigene Trasse realisierbar und wurden teilweise auch bereits diskutiert [98].

Für eine S-Bahn in Osnabrück bietet sich die schon im Nahverkehrsplan angesprochene Entwicklungsachse Eversburg - Lüstringen auf der Eisenbahnstrecke Rheine - Hannover an. Diese Achse bedient in erster Linie die Zentren der Arbeitsstätten.

Der Schnittpunkt beider Achsen liegt in Zentrumsnähe an der Wittekindstraße / Berliner Platz zwischen Hauptbahnhof und Neumarkt.

Die Karte in der Abb. 39 gibt einen Überblick über die regionalen Stadt-Umland Verknüpfungen von Osnabrück. Die im Text aufgeführten Entwicklungsachsen beziehen sich vorrangig auf den Stadt- bzw. Stadtnah- Verkehr in Osnabrück, auf eine gute Verknüpfungsmöglichkeit mit dem Umlandverkehr sollte jedoch bei einer spezifischen Routenplanung geachtet werden.

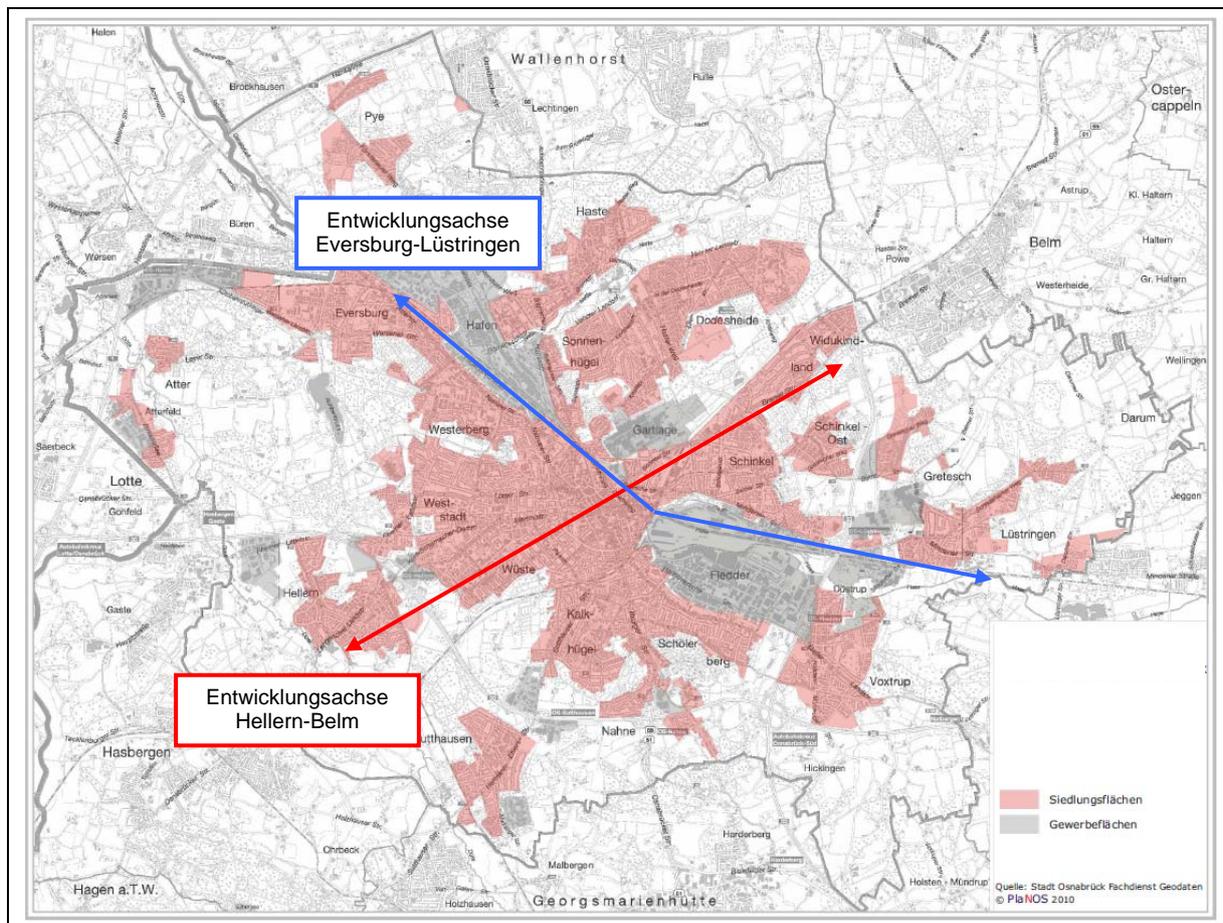


Abb. 35: Einwohnerdichte je Stadtteil zur Festlegung der Entwicklungsachsen "Wohnen" [99]

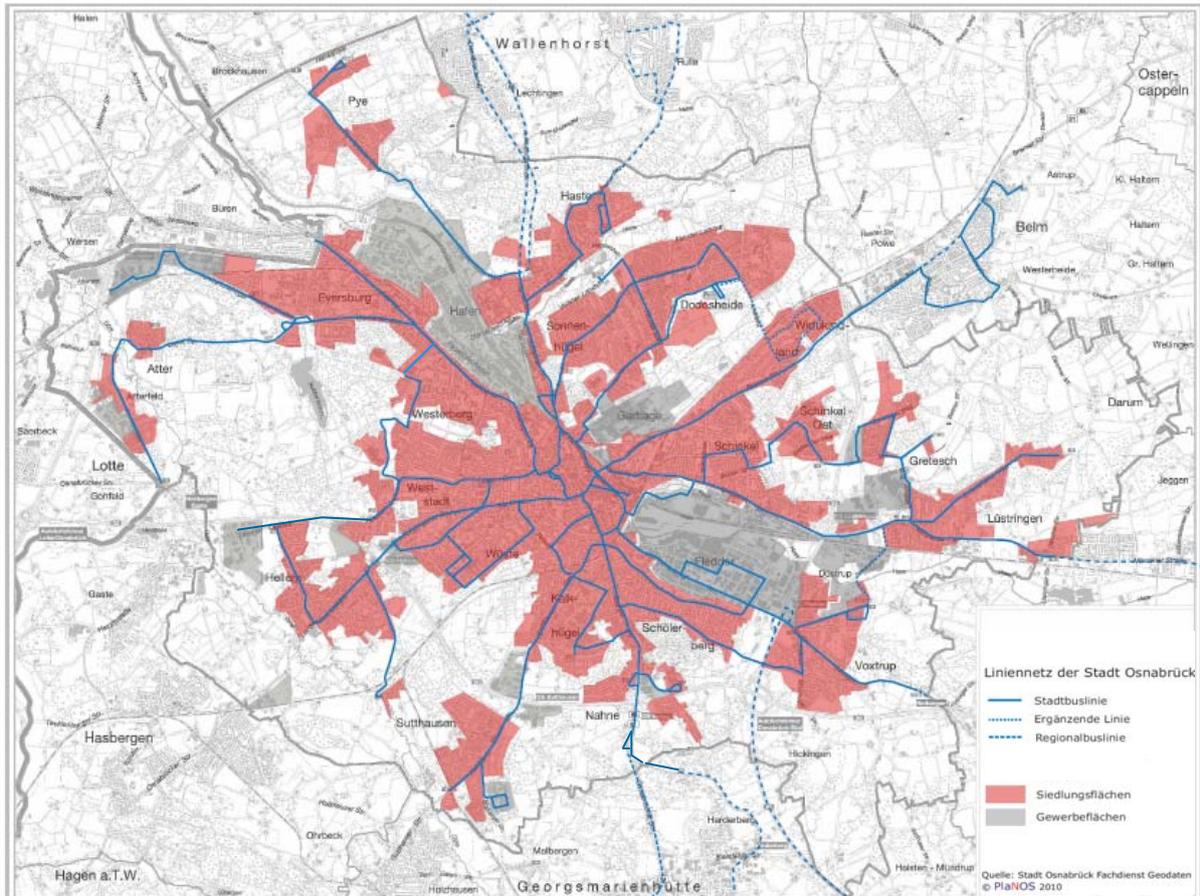


Abb. 38: Liniennetz Osnabrück [102]

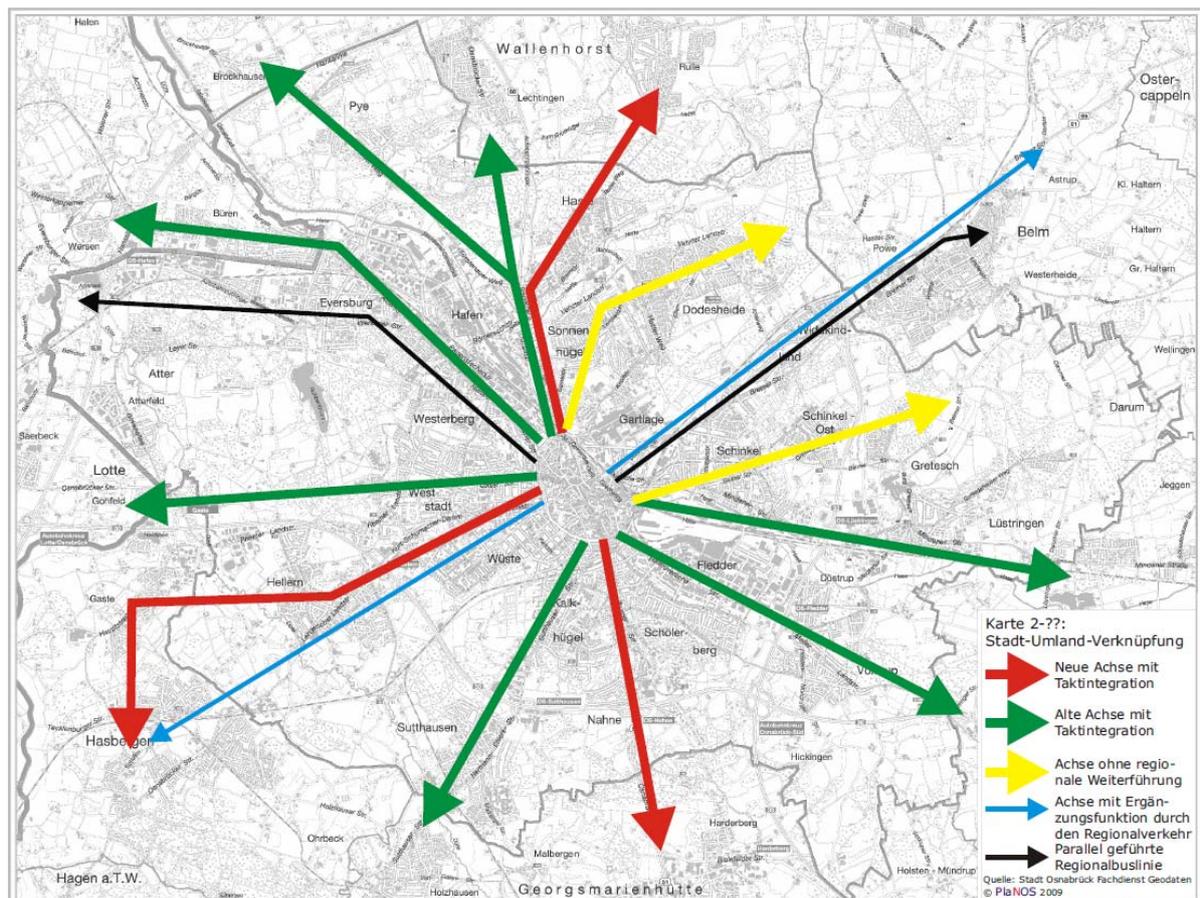


Abb. 39: Stadt-Umland-Verknüpfung Osnabrück [103]

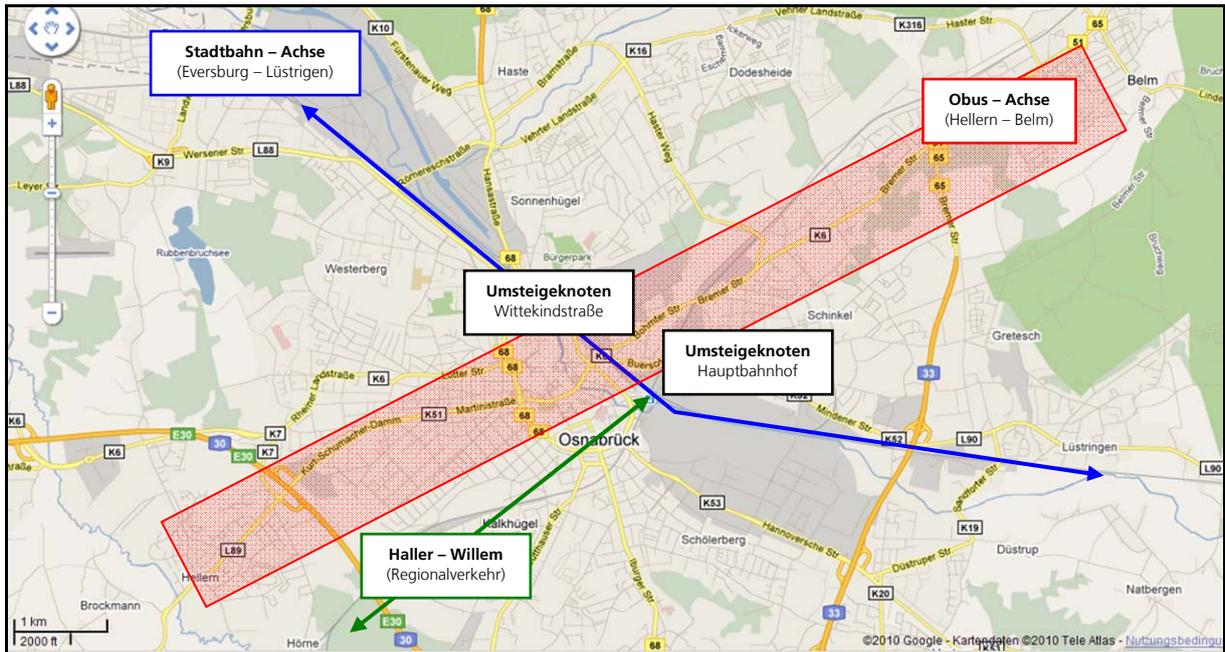


Abb. 40: Entwicklungsachsen bzw. -korridore Osnabrück [104]

7.3. Ausbau des Eisenbahnnetzes als S-Bahn

Als zweite Entwicklungsachse bietet sich die im Nahverkehrsplan als Osnabrücker S-Bahn vorgeschlagene Mitnutzung der Eisenbahnstrecke Rheine – Hannover, insbesondere der Abschnitt Eversburg - Lüstringen an. Als empfehlenswerte Haltepunkte auf der Stammstrecke sind der Haltepunkte Bahnhof Eversburg, der neu einzurichtende Haltepunkt Hafen, der Haltepunkt Hasetor (jetzt Altstadt), der neu einzurichtende Verknüpfungspunkt Wittekindplatz, der Verknüpfungspunkt Hauptbahnhof, der neu einzurichtende Haltepunkt Güterbahnhof zu nennen. Der neu einzurichtende Verknüpfungspunkt Wittekindplatz übernimmt dabei die Verknüpfung zwischen den beiden empfohlenen Systemen Busbahn und S-Bahn.

Ein Ausbau der S-Bahn nach dem Karlsruher Modell stößt wegen der Linienführung auf unterschiedlichen Höhenprofilen (Dammelage und Lage in Einschnitten) vermutlich auf Schwierigkeiten. Ein entsprechender Vorschlag sollte zurückgestellt werden, bis eine detaillierte Machbarkeitsstudie, eine prinzipielle Ausbaumöglichkeit nachweist.

Die Rückgewinnung des Güterbahnhofgeländes zur städtebaulichen Nutzung und die alsbaldige Einrichtung eines Haltepunkts „Güterbahnhof“ entsprechen dem Trend der Freimachung von Güterbahnhöfen in der Umgebung von Personenbahnhöfen. Der Grund ist die zunehmende Containerisierung des Güterverkehrs, die eigene Containerumschlagplätze und Abstellflächen, Autobahnanschluss und Verladekräne notwendig machen und für die die vorhandenen Güterbahnhofgelände in der Regel nicht geeignet sind. Die beschriebene technologische Entwicklung bietet hier gute städtebauliche Entwicklungsmöglichkeiten (freierwerdende Flächen), die in anderen Städten schon genutzt wurden.

7.4. Aufwärtskompatibilität eines Busbahnsystems zur Straßen-/ Stadtbahn

Mit der Ausweisung (1) einer eigenen Trasse für ein Obussystem, mit der (2) Installation von Masten für Straßenlampen, die gleichzeitig Oberleitungen tragen können (System Euro poles, Kosten 2.000 – 2.500 €/Stück vorbehaltlich eines geeigneten rechnerischen Nachweises bzgl. Tragfähigkeit und Verankerung), mit der (3) technischen Einrichtung von Stromversorgung und Unterwerken und mit der (4) Eingewöhnung in die unverrückbare Entwicklungsachse dank der „Schienen am Himmel“, werden gute Voraussetzungen geschaffen, für eine spätere Umstellung auf ein Straßen-/ Stadtbahnsystem, falls dieses zu einem späteren Zeitpunkt gewünscht bzw. finanziell umsetzbar ist.

Die aufgeführten Beispiele für Busbahnsysteme zeigen, dass der sogenannte Straßen-/ Stadtbahneffekt, das Fassungsvermögen und der Bedienkomfort nicht an die Einrichtung einer Straßen-/ Stadtbahn geknüpft sind. Busbahnen mit den Komfortmerkmalen: eigene Trasse, dichte Taktfolge, hohe Designqualität und vernünftige Tarife leisten die gleiche Mobilitätsqualität bei 80% weniger Kosten [105].



Abb. 41: Kombimasten Licht und Oberleitung von Europoles [106]

7.5. *Mischbetrieb*

Bei der Diskussion um neue Straßen-/ Stadtbahnssysteme wird gerne übersehen, dass auch nach Einführung einer Straßen-/ Stadtbahn zumeist in großem Umfang Busbetrieb bestehen bleibt, da eine Straßen-/ Stadtbahn, wenn überhaupt, nur einige wenige Achsen sinnvoll und wirtschaftlich bedienen kann. Das Beispiel Salzburg zeigt, dass ein Busbahnsystem nach und nach das gesamte Netz erfassen und modernisieren kann. Ein Vorteil, der der nachhaltigen Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Personennahverkehrs sehr entgegen kommt.

Mischbetrieb auf Straßen- und Stadtbahntrassen ist denkbar, wenn das Gleisbett für die Nutzung von Bus und Bahn ausgebaut wird. Dieses führt allerdings zu einer Verteuerung der Infrastruktur. Denkbar ist auch ein entsprechend gestalteter Zubringerverkehr an die Straßen-/ Stadtbahnlinien. Unterbrochene Verkehre, bei denen es zu Umsteigebeziehungen und Wartezeiten kommt, und die zum Teil aufwendige Haltestellen für die „Backe an Backe“ – Übergänge erfordern machen den Mischbetrieb wenig attraktiv und rufen nach anderen Lösungen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Kenning, L.; Schindler, M.: Obusse in Deutschland, Band 1, Verlag Kenning, ISBN: 978-3-933613-34-9
- [2] Canzler, W.; Knie, A.; Möglichkeitsräume - Grundrisse einer modernen Mobilitäts- und Verkehrspolitik; Wien/Köln/Weimar: Böhlau Verlag 1998, S. 72
- [3/62/63]
Fotos: Kühne, R.
- [4/8/12/14/18/23/26/28/30/32/34/36/39/46/48/50/89]
Internet: www.wikipedia.de – Stichwort ist der jeweilige Stadtname
- [5] Internet: Straßenbahn Straßburg, www.wikipedia.de
- [6/7]
Groneck, C.: Neue Straßenbahnen in Frankreich – Die Wiederkehr eines urbanen Verkehrsmittels; EK-Verlag; ISBN:3-88255-844-X
- [9/29/64/74/78]
Blasch, F.: Alternativen zur Stadtbahn; Diplomarbeit TU Dortmund – Fakultät Raumplanung
- [10] Internet: APS (alimentation électrique par le sol) – Das System der Stromversorgung der Straßenbahn von Bordeaux, <http://www.medoc-notizen.de/resources/tram-2-DSC03014.jpg>
- [11] Internet: www.alstom.com (Pressemitteilung)
- [13/65/66/67/68]
Standardisierte Bewertung des Vorhabens „Verlängerung der Stadtbahnlinie 1 nach Böfingen; Untersuchungsbericht im Auftrag der SWU Verkehr GmbH; Ulm 2004
- [15] Karlsruher Verkehrsverbund
- [16] Internet: www.stadtbahn-erlangen.de/Images/Karlsruhe.jpg
- [17] Tritschler, S.; Universität Stuttgart; Verkehrswissenschaftliches Institut (VWI)
- [19] Lesort, J.B.: Diskussionsbeitrag aus Anlass des TFT-Committee Summer Meetings, Annecy, France; Juni 2010
- [20] Internet: www.strassenbahnforum.de (Translohr – tramway on tires)
- [21/33]
Internet: www.estrepublicain.fr/fr/zoom/transports-urbains-nancy/info/2414367-Tram-de-Nancy-Bombardier-engage-le-bras-de-fer
- [22] Firmenunterlagen „Translohr the other tramway“
- [24] Stadtverwaltung Nancy
- [25] Internet: www.strassenbahnforum.de
- [27] Trolleybus Magazine, Journal of the National Trolleybus Association No.292, Juli August 2010
- [31] Internet: www.plan-mobil.de/pm_special_busway.html

- [36] Schaffer, H.; Internationale Fachtagung des DLR; „Der O-Bus – hochmodern und altbewährt“, Solingen, Tagungsband 2007
- [37/71/72/73/105]
Trolley Motion: Der Trolleybus als Alternative zur Stadtbahn; Fachtagung KTBB 2008
- [38] Hondius, Harry: Doppelgelenk-Elektrobusse von Hess/ Vossloh Kiepe. Stadtverkehr 10/07, Fahrzeug & Technik, S. 18-25
- [40] Internet: www.obus.info/obus/solingen/obus-sg-geschichte.htm
- [41/43/44/45/70]
Troullier, C.; Internationale Fachtagung des DLR; „Der O-Bus – hochmodern und altbewährt“, Solingen, Tagungsband 2007
- [42] Internet: <http://www.lanuv.nrw.de/luft/temes/0712/VSGK.htm#>; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW: Station Solingen 2007]
- [47] Internet: www.bbg-egerswalde.de/solaris.php
- [49] Mackinger, G.; Internationale Fachtagung des DLR; „Der O-Bus – hochmodern und altbewährt“, Solingen, Tagungsband 2007
- [51/77]
Persönliches Gespräch mit Herrn Frank Wruck, Geschäftsführer des Barnimer Busgesellschaft (BBG) Eberswalde
- [52/53/54]
Pütz, R. et al.; Linienbus-Verkehrssysteme mit elektrischem Fahrantrieb – Potential für eine emissionsfreie Mobilität; DVV Media Group/Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH; Hamburg 2007; ISBN 978-3-7771-0366-2
- [55/58]
Schmitz, M.: Optimierte Energienutzer, VÖV UTP, 31.08.06
- [56] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation; Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH: Strukturstudie BWe mobil – Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität]
- [57] Veröffentlichung der Stadtwerke Solingen
- [59/60]
Sojref, D.: High Performance Energy Storages for Mobile and Stationary Applications; HPSMS, Cost Action 542, 2007
- [61] Foto: Bei, X.
- [69] Schick, P.; Stadtplanungsamt der Stadt Freiburg; persönliche Mitteilung
- [75/85/86/90]
Hass-Klau, C. et al.; Economic Impact of Light Rail ; Bergische Universität Wuppertal – Fachzentrum Verkehr ; Juli 2004; ISBN 0-9519620-9-4
- [76] Stadtverkehr; Fachzeitschrift für den öffentlichen Personen-Nahverkehr auf Schiene und Straße; EK-Verlag
- [79] Internet: www.hess-ag.com
- [80] Internet: www.viseon-yourbus.com

- [81] Internet: www.vanhool.be
- [82] Internet: (www.solaribus.pl)
- [83] Internet: www.viseon-yourbus.com
- [84] SSB AG, Technisches Büro 1992
- [87] Baier, R.; Shared Space Vortrag Universität Stuttgart; Im Rahmen des Kolloquiums: 100 Jahre Max-Erich Feuchtinger und Bruno Wehner 2009
- [88] Internet: www.vcs-sgap.ch/dossiers/Begegnungszonen/BegZ_Biehl.html
- [91/93]
Baum, H.; Schneider, J.; Peters, H.; Drittnutzen des öffentlichen Personennahverkehrs im Raum Köln; Forschungsvorhaben gefördert durch die GEW-Stiftung; Institut für Verkehrswissenschaft Universität Köln; Köln 2006
- [107/94]
Internet: www.voris-nds.de/jportal
- [95] Deutscher Straßenkongress 2010, Referat ADAC]
- [96] Kühne, R.; Vorlesung Immobilienmanagement in der Infrastruktur; SS2010 Universität Stuttgart]
- [97] Foto: Köhne, S.
- [98] Gespräch unter Moderation Frau Köhne, 3. Juni 2010 Osnabrück
- [99/100/102/103]
PlaNOS, 2. Nahverkehrsplan für Stadt und Land Osnabrück, Dezember 2004
- [101]Internet: www.Stadtwerke-Osnabrueck.de, Netzfahrplan
- [104]Internet: Karte aus www.maps.google.de, eigene Bearbeitung
- [106]Internet: www.europoles.de, Download-Faltblatt Oberleitungsmasten

Weiterführende Literatur

- 2. Nahverkehrsplan für die Stadt Osnabrück und den Landkreis Osnabrück; erarbeitet durch die Planungsgesellschaft Nahverkehr Osnabrück (PlaNOS); Osnabrück 2004
- Stadtverkehr; Fachzeitschrift für den öffentlichen Personen-Nahverkehr auf Schiene und Straße; EK-Verlag
- Der Elektrobuss - umweltgerechtes und energieeffizientes Verkehrssystem für die Stadt der Zukunft, Tagungsband der 2. nationale Fachtagung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. -Verkehrsstudien, Berlin 2009
- Internet:
www.trolleybus.co.uk/nta
www.trolleymotion.com
www.hess-ag.ch
www.obus.info
www.de.alstom.com
www.strassenbahnforum.de