

Angenommene Dissertation  
zum Erlangen des Grades Doktor-Ingenieur  
im Fachbereich D, Abteilung Bauingenieurwesen der  
Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von Dipl.-Ing. Volker Deutsch

**Einsatzbereiche neuartiger  
Transportsysteme zwischen Bus und Bahn**

Wuppertal, im Oktober 2003





### **Begleitung der Dissertation**

Die Monographien, dargestellt in dem Kapitel 4, beziehen Ausführungen von H. HONDIUS (2002/a, 2002/b) sowie R. BENJARI (2002) mit ein. Ansprechpartner vor Ort sind in Utrecht: Herr K. KOONSTRA, GUV und Ch. KEUNEN, Van Hool; in Rouen: Herr R. HUE, TCAR und Herr Ph. LEMASSON, TCAR; in Eindhoven: Herr J. SPLINT, Herr A. F. VAN DRUNEN, GVA und R. BOUWMAN, APTS; in Clermont-Ferrand: Herr F. MOULIN, SMTC und Herr M. KÖRBER, Lohr Industrie; in Orléans: F. LUCIANO, Transdev, Herr E. OMNES, SEMTAO und Herr W. PERRERA, SEMTAO.

Der Anhang C stützt sich im Wesentlichen auf eine gemeinschaftliche Veröffentlichung mit den Herren Z. KHATIR, CERTU, und C. SOULAS, CERTU.

Die im Anhang E dargestellten Kostenstrukturen der Fahrwegkonstruktionen beruhen auf Auskünften der Tiefbauämter Remscheid, Solingen und Ulm, Schumann Sasol International AG, Schreck-Mieves GmbH, Ed. Züblin AG, Infundo GmbH sowie Leonhard Weiss Bauunternehmung GmbH & Co. Zum Zwecke der Vergleichbarkeit sind die Kostendaten einheitengerecht angepasst worden.



# Kurzreferat

Die Dissertation behandelt Systementwicklungen und -anwendungen neuartiger Transportsysteme zwischen Linienbusverkehr und Straßenbahn, die in innerstädtischen Verkehrsräumen eingesetzt werden sollen. Transportsysteme zwischen Bus und Bahn können hierbei als niederflurige und kapazitätsstarke Fahrzeuge auf Basis moderner Bustechnologie bezeichnet werden, die bevorrechtigt auf hochwertig ausgebauten Eigenrassen eingesetzt werden. Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse zu diesen Transportsystemen sind bisher nur in sehr begrenztem Umfang verfügbar. Deshalb wird ein umfassendes Bild der Vor- und Nachteile erstellt. Die Forschungsarbeit ist auch als Entscheidungshilfe für Neuplanungen gedacht.

Wichtiger Bestandteil dieser Arbeit ist eine übergeordnete Klassifizierung der Fahrzeugkonzepte zwischen Bus und Bahn, danach erfolgt eine umfassende fahrzeug- und fahrwegseitige Untersuchung, wobei die Betriebsreife anhand der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit der einzelnen fahrzeug- und fahrwegseitigen Systemkomponenten – dies sind Fahrzeug- und Antriebskonzept, Komponenten wie Querführung, Stromzuführung, elektronische Deichsel sowie Fahrwegkonstruktionen – kritisch betrachtet wird. Dabei zeigt sich, dass man bei einer breit angelegten Anwendung vorerst noch auf bewährte Nutzfahrzeug- bzw. Bahntechnik setzen sollte.

Darüber hinaus wird der Weg von einzelnen Städten vorgestellt und anhand deren Systemimplementierungen das verkehrsplanerische Leistungsspektrum der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn vor Augen geführt. Es werden verkehrsplanerische Einsatz- und Entwurfparameter abgeleitet. Da eine komplexe Entscheidung wie die Auswahl eines Transportsystems per se weder allgemeingültig noch in „Maß und Zahl“ ausdrückbar ist, wird das Leistungsspektrum dieser Fahrzeugtypen in einem Planungsleitfaden gegenübergestellt, der systemspezifische, betriebstechnische, städtebauliche sowie wirtschaftliche Aspekte beinhaltet. Der weitergehende Prozess einer Eignungsfeststellung setzt voraus, dass einzelfallspezifisch gesamtgemeindliche Zielsetzungen, Nutzungsverträglichkeiten sowie das Betriebsprogramm vorab bekannt sein müssen.

Festgehalten werden kann, dass die Transportsysteme zwischen Bus und Bahn eine erweiterte verkehrstechnische Wahlmöglichkeit schaffen und die Wirtschaftlichkeit bei den Bau- und Betriebskosten steigern. Der Planungsansatz eines neuen Straßenbahnsystems wäre demnach aus wirtschaftlicher Hinsicht so lange zu vermeiden, wie es die Bewältigung des Fahrgastaufkommens ermöglicht. Dies erfordert aber die entschlossene Nutzung moderner planerischer, gestalterischer und betriebstechnischer Erkenntnisse bei der Verwendung eines busorientierten Transportsystems, insbesondere im Bereich der städtebaulichen Integration einer Eigentrasse sowie bei der Vermittlung eines hochwertigen Bedienungsangebots.

# Abstract

The research discusses developments and applications of new types of intermediate rubber-tyred transport systems between a bus and a tram, intended for operation in inner city areas. Intermediate transport systems between a bus and a tram are here defined as low-floor, high-capacity vehicles based on modern bus technology, operating on high-quality tracks with their own right-of-way. There has so far only been a very limited amount of knowledge and experience of these transport systems. A comprehensive picture will therefore be presented of the advantages and disadvantages. This research paper is also intended to help in the decision-making process when deciding on new planned systems.

An important component of this research is a more detailed classification of the vehicle concepts relating to bus and light rail. It also includes a comprehensive investigation of the vehicles and track infrastructure. Operational maturity is critically assessed on the basis of the technical and economic practicability of the individual vehicle and track system components. These include the vehicle and drive concept, components such as guidance, power supply, electronic coupling, and track construction. It is clear that for general use well-established vehicle and rail technology is still to be preferred for the time being.

In addition the route that individual cities have taken is presented and using their implementation of the systems as an example, the range of application of the intermediate transport systems is shown from the viewpoint of transport planning. Transport planning implementation and design parameters are illustrated. As a complex decision such as the selection of a transport system is per se neither universally valid nor expressible in facts and figures, the performance spectrum of these types of vehicles is compared in a planning survey, which includes system-specific, technical and operational, urban planning and economic aspects. Prerequisites for the continuing process of determining suitability are that for each individual case the overall community objectives, compatibility of use, and the operational programme must be known in advance.

It can be concluded that intermediate rubber-tyred transport systems extend the choice for a technical transport system and increase the economic viability of infrastructure and operational costs. From an economic viewpoint, planning a new tram system should be avoided for as long as the number of passengers can be accommodated. However, this requires resolute usage of modern planning, design and operational technical knowledge when using a bus-orientated transport system, especially if a separate track has to be integrated into a city and in order to provide a high-quality service.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation .....	1
1.2	Ziel der Arbeit .....	2
1.3	Begriffserklärungen .....	3
1.4	Aufbau der Arbeit .....	5
<b>2</b>	<b>Derzeitiges Herstellerangebot zwischen Bus und Bahn.....</b>	<b>7</b>
2.1	Der Markt der Transportsysteme .....	7
2.2	Die Idee eines Dual-Mode-Konzeptes .....	8
2.3	Richtungsweisende Forschungsprogramme.....	8
2.4	Anwendungen des Spurbusses.....	9
2.5	Bimodale Antriebstechnik.....	10
2.6	Les Systèmes guidés sur Pneus.....	12
2.7	Das Projekt RUBIS.....	16
2.8	Weitere Entwicklungen zur Busbahn .....	17
2.9	Oberhausen: Buszüge im Fahrgastprobetrieb .....	19
2.10	Buszüge im ÖPNV – aktueller Großversuch in NRW .....	21
2.11	Überblick: der heutige internationale Fahrzeugmarkt .....	22
<b>3</b>	<b>Technische Untersuchung.....</b>	<b>25</b>
3.1	Vorgehensweise.....	25
3.2	Fahrzeug- und Antriebskonzept (Anhang A).....	26
3.3	Querführung (Anhang B).....	26
3.4	Stromzuführung (Anhang C) .....	28
3.5	Elektronische Deichsel (Anhang D) .....	28
3.6	Fahrwegkonstruktionen (Anhang E).....	28
3.7	Marktreife Fahrzeugtypen .....	29
3.8	Perspektive der Fahrzeugtypen .....	30
3.9	Technische Daten der Fahrzeugtypen .....	32
<b>4</b>	<b>Monographien projektierter und realisierter Transportsysteme.....</b>	<b>35</b>
4.1	Planerische Vorleistungen.....	35
4.2	Auswahl von Anwendungsbeispielen.....	36
4.3	Utrecht: Transportsystem mit Buszügen.....	37
4.4	Rouen: Transportsystem Busbahn.....	42
4.5	Eindhoven: Transportsystem Busbahn .....	47
4.6	Clermont-Ferrand: Straßenbahn auf Gummireifen .....	53
4.7	Orléans: Transportsystem Straßenbahn .....	58
4.8	Diskussion der Monographien.....	63
4.9	Gegenüberstellung der Vergleichsdaten.....	66
4.10	Merkmale der Transportsysteme .....	67

<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Planungsleitfadens.....</b>	<b>71</b>
5.1	Problemstellung.....	71
5.2	Übergeordnete Bewertungsebenen .....	72
5.3	Zielfelder.....	72
5.4	Systemspezifische Eigenschaften.....	75
5.5	Betriebstechnische Anforderungen.....	81
5.6	Städtebauliche Eignung .....	92
5.7	Wirtschaftliche Auswirkungen.....	101
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>109</b>
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>119</b>
<b>Anhang A</b>		
	<b>Fahrzeug- und Antriebskonzepte.....</b>	<b>121</b>
<b>A.1</b>	<b>Buszüge mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren.....</b>	<b>123</b>
A.1.1	Verbrennungsmotoren, Kraftstoffe und Emission.....	123
A.1.2	Antriebskonzeption mit Mittelmotor .....	127
A.1.3	Niederflurige Doppelgelenkfahrzeuge .....	128
A.1.4	Solobus mit Personenanhänger .....	130
<b>A.2</b>	<b>Elektrischer Fahrentrieb mit Oberleitung.....</b>	<b>133</b>
A.2.1	Lokale Emissionsfreiheit.....	133
A.2.2	Obus .....	133
A.2.3	Duobus .....	135
A.2.4	Duo-Spurbus.....	136
<b>A.3</b>	<b>Busbahnen mit Verbrennungsmotor/ Generator-Aggregat .....</b>	<b>139</b>
A.3.1	On-Board Stromerzeugung.....	139
A.3.2	Der elektrische Einzelradantrieb.....	140
A.3.3	Evolutionäre Busbahn.....	141
A.3.4	Individuelle Busbahn mit Power-Pack .....	143
<b>A.4</b>	<b>Elektrischer Bahnbetrieb.....</b>	<b>145</b>
A.4.1	Straßenbahn auf Gummireifen mit Oberleitung.....	145
A.4.2	Systembahnen und pneubereifte Straßenbahn.....	146
A.4.3	Alternative Energiequellen.....	148
<b>A.5</b>	<b>Technische Einzelfragen .....</b>	<b>149</b>
A.5.1	Energiemanagement eines Hybridantriebs .....	149
A.5.2	Ultra-kompaktes Antriebssystem.....	151
A.5.3	Brennstoffzellenantrieb .....	153
<b>A.6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>157</b>
<b>A.7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>161</b>



## Anhang B

### Automatische Querführung ..... 163

<b>B.1</b>	<b>Aspekte einer automatischen Querführung.....</b>	<b>165</b>
B.1.1	Zielsetzung einer automatischen Querführung .....	165
B.1.2	Zulässige Fahrzeuglänge .....	166
B.1.3	Begriffe zur Querführung bei Straßenfahrwerken .....	167
B.1.4	Anforderungen an ein Querführungssystem .....	168
B.1.5	Prinzipien aktueller Querführungstechniken.....	170
<b>B.2</b>	<b>Handlenkung bei Fahrzeugen mit Sonderlänge.....</b>	<b>171</b>
B.2.1	Mehrachslenkung.....	171
B.2.2	Betriebserfahrungen .....	171
B.2.3	Formstein mit Selbstlenkungseffekt .....	173
B.2.4	Einsatzhinweise des Formsteins .....	174
B.2.5	Wirkungsweise des profilierten Formsteins.....	175
<b>B.3</b>	<b>Mechanische Spurregelung an einer Leitkante .....</b>	<b>177</b>
B.3.1	Erfahrungen mit mechanisch geregelten Spurbussen .....	177
B.3.2	Technik der mechanischen Spurregelung .....	178
B.3.3	Fahrzeugseitige Spurführungskomponenten .....	179
B.3.4	Vor- und Nachteile der mechanischen Spurregelung.....	180
<b>B.4</b>	<b>Mechanische Spurführung an einer Monoschiene .....</b>	<b>183</b>
B.4.1	Ausgangssituation .....	183
B.4.2	Einsatzziele eines Zweiwegefahrzeugs.....	184
B.4.3	GLT/TVR: Führungsrollen mit beidseitigem Spurkranz.....	185
B.4.4	Translohr: V-förmiges Führungsrollenpaar.....	186
<b>B.5</b>	<b>Berührungsfreie Spurregelung.....</b>	<b>189</b>
B.5.1	Meilensteine.....	189
B.5.2	Zielsetzung der berührungsfreien Spurregelung.....	191
B.5.3	Induktive, optische und Odometrie-basierte Leitsysteme ...	192
B.5.4	Regelprozess.....	196
B.5.5	Deaktivierung der Spurregelung im Gefahrenmoment.....	197
B.5.6	Sicherheitsaspekte .....	198
B.5.7	Passive Nothilfsführung.....	199
B.5.8	Abschätzung der Einsatzbereiche .....	200
<b>B.6</b>	<b>Vergleichende Bewertung der Querführungstechniken.....</b>	<b>201</b>
B.6.1	Breitenbedarf der Betriebsanlagen.....	201
B.6.2	Einsatzempfehlung der Querführungstechniken .....	202
B.6.3	Zusammenfassung .....	204
<b>B.7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>205</b>

	<b>Anhang C:</b>	
	<b>Straßenbündige Stromzuführung .....</b>	<b>207</b>
<b>C.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>209</b>
C.1.1	Zielsetzung .....	209
C.1.2	Systemkonzepte im Überblick .....	209
<b>C.2</b>	<b>System Stream.....</b>	<b>211</b>
C.2.1	Allgemeines .....	211
C.2.2	Funktionsweise.....	211
C.2.3	Entwicklungsstand .....	213
<b>C.3</b>	<b>System von Innorail .....</b>	<b>215</b>
C.3.1	Allgemeines .....	215
C.3.2	Funktionsweise .....	215
C.3.3	Entwicklungsstand .....	217
<b>C.4</b>	<b>System ALISS .....</b>	<b>219</b>
C.4.1	Allgemeines .....	219
C.4.2	Funktionsweise .....	219
C.4.3	Entwicklungsstand .....	221
<b>C.5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>222</b>
<b>C.6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>225</b>
	<b>Anhang D:</b>	
	<b>Elektronische Deichsel .....</b>	<b>227</b>
<b>D.1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>229</b>
D.2	Hintergrund .....	229
D.1.2	Technische Anforderungen .....	229
D.1.3	Entwicklungsstand .....	230
<b>D.2</b>	<b>Sicherheitstechnische Randbedingungen ....</b>	<b>231</b>
D.2.1	Prinzipielle Länge des Bus-Zugverbands .....	231
D.2.2	Querführung.....	231
D.2.3	Abstandshaltung .....	232
<b>D.3</b>	<b>Betriebliche Aspekte .....</b>	<b>233</b>
D.3.3	Fahrgastsicherheit und -abfertigung.....	233
D.3.2	Liniengestaltung.....	233
D.3.3	Wirtschaftlichkeit.....	234
<b>D.4</b>	<b>Vergleichbare Anwendungen im Schienenverkehr .....</b>	<b>235</b>
D.4.1	Virtuelle Zugverbände .....	235
D.4.2	Flügelungsprinzip .....	236
<b>D.5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>237</b>
<b>D.6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>239</b>

<b>Anhang E:</b>	
<b>Fahrwegkonstruktionen .....</b>	<b>241</b>
<b>E.1</b>	<b>Einleitung..... 243</b>
E.1.1	Vorbemerkung ..... 243
E.1.2	Anforderungen an Busverkehrsflächen ..... 244
E.1.3	Bauklasse nach den RStO 01 ..... 244
E.1.4	Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung ..... 245
E.1.5	Ergänzende Regelwerke ..... 246
<b>E.2</b>	<b>Oberbauvarianten für Busverkehrsflächen ... 247</b>
E.2.1	Bauweisen für den fließenden Verkehr ..... 247
E.2.2	Bauweisen bei Haltestellenanlagen und Standverkehr ..... 250
E.2.3	Busverkehrsflächen mit Beton-Gleitschalungstechnik ..... 252
E.2.4	Fertigteilmbauweise bei unabhängigem Fahrweg..... 253
E.2.5	Fertigteilmbauweise bei Mischbetriebsfahrweg..... 254
<b>E.3</b>	<b>Technische Sonderfragen ..... 255</b>
E.3.1	RUBIS: Spurrinnenbildungsversuch ..... 255
E.3.2	Temperaturausgleich bei Asphaltbefestigungen ..... 257
E.3.3	Leitungsfreiheit und Fahrkomfort..... 257
E.3.4	Rasengleisvarianten ..... 258
<b>E.4</b>	<b>Fahrzeugtypen und empfohlener Oberbau.... 261</b>
E.4.1	Auswahl der Straßenbautechnik..... 261
E.4.2	Fahrzeugtyp Buszug..... 262
E.4.3	Fahrzeugtyp Busbahn..... 262
E.4.4	Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen ..... 263
<b>E.5</b>	<b>Kostensätze Fahrwegkonstruktionen ..... 265</b>
E.5.1	Kostendaten Splittmastixasphalt ..... 265
E.5.2	Kostendaten Sonderbindemittel/Monoschieneneinbau ..... 266
E.5.3	Kostendaten Beton-Gleitschalungstechnik..... 267
E.5.4	Kostendaten Straßenbahngleis ..... 268
E.5.5	Interpretation der systemspezifischen Kostenfaktoren..... 269
<b>E.6</b>	<b>Literatur ..... 271</b>

## Liste der genormten Maßeinheiten

<b>Druck</b> .....	Pascal	Pa
<b>Frequenz</b> .....	Hertz	Hz
<b>Leistung</b> .....	Watt	W
<b>Masse (Gewicht)</b> .....	Kilogramm	kg
<b>Schallpegel</b>	Dezibel/A	dB(A)
<b>Stromspannung</b> .....	Volt	V
<b>Stromstärke</b> .....	Ampere	A
<b>Temperatur</b> .....	Grad Celsius	°C
<b>Zeit</b> .....	Sekunde	sec
	Minute	min
	Stunde	h

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Kernaspekte eines Nahverkehrssystems .....	3
<b>Abbildung 2:</b> Herstellerangebot zwischen Bus und Bahn.....	23
<b>Abbildung 3:</b> Die Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn.....	29
<b>Abbildung 4:</b> Marktreife Fahrzeugtypen.....	30
<b>Abbildung 5:</b> Fahrzeugkonzeptionen zwischen Bus und Bahn .....	34
<b>Abbildung 6:</b> Öffentliche Transportsysteme in Utrecht .....	38
<b>Abbildung 7:</b> Öffentliche Transportsysteme in Rouen .....	43
<b>Abbildung 8:</b> Öffentliche Transportsysteme in Eindhoven.....	49
<b>Abbildung 9:</b> Öffentliche Transportsysteme in Clermont-Ferrand .....	54
<b>Abbildung 10:</b> Öffentliche Transportsysteme in Orléans .....	59
<b>Abbildung 11:</b> Streckenvarianten in einem Verkehrskorridor .....	88
<b>Abbildung 12:</b> Ablauf des Richtungswechselbetriebs .....	95
<b>Abbildung B.1:</b> Elektronische Spurregelung.....	196
<b>Abbildung C.1:</b> Systemskizze der Kontaktschiene, Stream .....	211
<b>Abbildung C.2:</b> Kontaktschienensegment, Innorail .....	215
<b>Abbildung C.3:</b> Funktionsprinzip der Stromzuführung, Innorail.....	216
<b>Abbildung C.4:</b> Funktionsprinzip der Stromzuführung, ALISS.....	220
<b>Abbildung D.1:</b> Train-Coupling und -Sharing.....	235

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Technische Vergleichsparameter der Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn .....	33
<b>Tabelle 2:</b>	Vergleichsdaten von bisher projektierten Transportsystemen zwischen Bus und Bahn .....	66
<b>Tabelle 3:</b>	Verkehrsplanerische Entwurfs- und Einsatzparameter eines Transportsystems zwischen Bus und Bahn .....	68
<b>Tabelle 4:</b>	Systemspezifische Eigenschaften mit Beschreibungsgrößen.....	75
<b>Tabelle 5:</b>	Betriebstechnische Anforderungen mit Beschreibungsgrößen.....	82
<b>Tabelle 6:</b>	Städtebauliche Bewertungskriterien mit Beschreibungsgrößen.....	93
<b>Tabelle 7:</b>	Mindestmaße von Fahrwegbreiten in der Geraden.....	94
<b>Tabelle 8:</b>	Mindestmaße von Fahrwegbreiten an Haltestellen .....	95
<b>Tabelle 9:</b>	Wirtschaftliche Bewertungskriterien mit Beschreibungsgrößen.....	102
<b>Tabelle 10:</b>	Durchschnittliche Systemkosten der neueren französischen Straßenbahnsysteme .....	103
<b>Tabelle 11:</b>	Fahrzeugbeschaffungskosten .....	105
<b>Tabelle 12:</b>	Idealtypische Kalkulation der Fahrzeugbetriebskosten Buszug/Straßenbahn .....	108
<b>Tabelle B.1:</b>	Querführungssysteme im Überblick .....	168
<b>Tabelle E.1:</b>	Kostenstruktur Splittmastixasphalt, Bauklasse II .....	265
<b>Tabelle E.2:</b>	Kostenstruktur Splittmastixasphalt, Bauklasse II, b = 6,80 m .....	266
<b>Tabelle E.3:</b>	Kostenstruktur Splittmastixasphalt (Sonderbindemittel), Bauklasse II, b = 5,30 m .....	267
<b>Tabelle E.4:</b>	Kostenstruktur bei einem nachträglichen Einbau einer Monoschiene in eine Asphaltstraße .....	267
<b>Tabelle E.5:</b>	Kostenstruktur Straßenbahn auf Gummireifen in Gleitschalungstechnik, b = 2,20 m .....	267
<b>Tabelle E.6:</b>	Kostenstruktur eines schwingungsgedämpften Straßenbahngleises mit Kammerfüllkörper .....	268
<b>Tabelle E.7:</b>	Kostenstruktur eines Straßenbahngleises mit Ortec-Flüsterschiene .....	268
<b>Tabelle E.8:</b>	Idealtypische Kostenfaktoren von Fahrwegkonstruktionen im Überblick .....	269

## Liste der Abkürzungen

<b>ACT</b>	Azienda Consorziale Trasporti
<b>ALISS</b>	Alimentation Statique par le Sol
<b>APTS</b>	Advanced Public Transport Systems
<b>ASEAG</b>	Aachener Straßenbahn und Energieversorgungs-AG
<b>BLFA-TK</b>	Bund-Länder-Fachausschuss für Technisches Kraftfahrwesen
<b>BMFT</b>	Bundesministerium für Forschung und Technologie
<b>BMVBW</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen
<b>BN</b>	Waggonfabrik Brugeoise et Nivelles
<b>BOKraft</b>	Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr
<b>BOM</b>	Brabantse Ontwikkeling Mij
<b>BOStrab</b>	Straßenbahn- Bau- und Betriebsordnung
<b>BRT</b>	Bus Rapid Transit
<b>BVG</b>	Berliner Verkehrsbetriebe
<b>CAR</b>	Communauté d'Agglomération
<b>CCAO</b>	Communauté de Communs de l'Agglomération Orléanaise
<b>CERTU</b>	Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions publiques
<b>CLEO</b>	Concevoir la Liaison Est-Ouest
<b>CRT</b>	Continuously Regenerating Trap
<b>CUGN</b>	Communauté Urbaine du Grand Nancy
<b>DE</b>	Diesel-elektrischer Antrieb
<b>DES</b>	Diesel-elektrischer Antrieb mit Speichermedium
<b>DHM</b>	Diesel-hydromechanischer Antrieb
<b>DRIS</b>	Doorstroming, Regelmaat, Informatievoorzienig, Stiptheid
<b>DVWG</b>	Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft
<b>EAE</b>	Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen
<b>EAHV</b>	Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen
<b>ESG</b>	Empfehlungen zur Gestaltung innerhalb bebauter Gebiete
<b>ETCS</b>	European Train Control System
<b>EUR</b>	Euro
<b>FC</b>	Fuel Cell
<b>FGSV</b>	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
<b>GART</b>	Groupement des Autorités Responsables de Transport
<b>GfK</b>	Glasfaserverstärkter Kunststoff
<b>GIE</b>	Groupement d'Intérêt Economique
<b>GLT</b>	Guided Light Transit
<b>GVFG</b>	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
<b>GVU</b>	Gemeentelijk Vervoerbedrijf Utrecht
<b>HOV</b>	Hoogwaardig Openbaar Vervoer
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor
<b>IMTS</b>	Intelligent Multi-Mode Transit System

<b>ITE</b>	Institut zur Erforschung technologischer Entwicklungslinien
<b>Léo</b>	Liaison Est-Ouest
<b>LF</b>	Low Floor
<b>LPG</b>	Liquefied Petroleum Gas
<b>LSA</b>	Lichtsignalanlage
<b>LSO</b>	Bund-Länder-Fachausschuss für Stadtbahnen und andere spurgeführte Ortsverkehrssysteme
<b>LZB</b>	Linienförmige Zugbeeinflussung
<b>MB</b>	Mercedes-Benz Omnibusse
<b>MIV</b>	Motorisierter Individualverkehr
<b>MLP</b>	Métro Léger sur Pneus
<b>MVEL-NRW</b>	Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung des Landes Nordrhein-Westfalen
<b>NF</b>	Niederflur
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>NS</b>	Niederländische Staatsbahn
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>ÖV</b>	Öffentlicher Verkehr
<b>PDU</b>	Plan de Déplacements Urbains
<b>PEM</b>	Proton Exchange Membrane
<b>PmB</b>	Polymermodifizierte Bindemittel
<b>PREDIT</b>	Programme Recherche Innovation Transport Terrestres
<b>R.V.I.</b>	Renault Vehicules Industriels
<b>RAS-L</b>	Richtlinie für die Anlage von Straßen - Linienführung
<b>RAS-Ö</b>	Richtlinie für die Anlage von Straßen - Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs
<b>RATP</b>	Régie Autonome des Transports Parisiens
<b>RBL</b>	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem
<b>RiLSA</b>	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
<b>Ris</b>	Reizigers Informatie Systeem
<b>RStO</b>	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
<b>RUBIS</b>	Rubber-tyred Intermediate Transport System
<b>SAE</b>	Système d'Aides à l'Exploitation
<b>SAEIV</b>	Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information des Voyageurs
<b>SAEM</b>	Société Anonyme d'Économie Mixte
<b>SAPEI</b>	Services Annexes aux Poles d'Échange Intermodaux
<b>SAPHIR</b>	Système d'Aide Électronique à la Préparation des Horaires, à l'Information et la Régulation du Trafic
<b>SCR</b>	Selective Catalytic Reduction
<b>SEMTAO</b>	Société d'Économie Mixte de Transport de l'Agglomération Orléanaise
<b>SGTE</b>	Société Générale de Techniques et d'Études
<b>SIVOM</b>	Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples
<b>SMA</b>	Splittmastixasphalt

<b>SMTCAC</b>	Syndicat Mixte des Transports en Commune de l'Agglomération Caennaise
<b>SNCF</b>	Französische Staatsbahn
<b>SNV</b>	Studiengesellschaft Nahverkehr
<b>SP HOV</b>	Stichting Platform Hoogwading Openbaar Vervoer
<b>SPNV</b>	Schienenpersonennahverkehr
<b>SRE</b>	Samenwerkingsverband Regio Eindhoven
<b>SSB</b>	Stuttgarter Straßenbahnen AG
<b>STEP</b>	Système de Transport Electrique sur Pneus
<b>STIF</b>	Syndicat des Transports d'Ile de France
<b>STIF</b>	Système de Transport Intermédiaire du Fer
<b>STOAG</b>	Stadtwerke Oberhausen AG
<b>STP</b>	Syndicat des Transports Parisiens
<b>Stream</b>	Sistema di Trasporto Elettrico ad Attrazione Magnetica
<b>STS</b>	Spezial-Transport-Systeme
<b>StVZO</b>	Straßenverkehrszulassungsordnung
<b>T2C</b>	Transport de Commun
<b>TAB</b>	Technische Aufsichtsbehörde
<b>TCAR</b>	Transports en Commun de l'Agglomération Rouennaise
<b>TCSP</b>	Transport Collectif en Site Propre
<b>TEC</b>	Transport en Commun en Wallonie
<b>TEOR</b>	Transport Est-Ouest Rouennais
<b>TfL</b>	Transport for London
<b>TL</b>	Transports Publics de la Région Lausannoise
<b>TPGN</b>	Tramway sur Pneus du Grand Nancy
<b>TSF</b>	Tramway Standard Français
<b>TÜV</b>	Technischer Überwachungsverein
<b>TVM</b>	Trans Val de Marne
<b>TVR</b>	Transport sur Voie Réservée
<b>UITP</b>	Union Internationale des Transports Publics
<b>ukA</b>	Ultra kompaktes Antriebssystem
<b>ULF</b>	Ultra Low Floor
<b>VAL</b>	Véhicules Automatiques Légères
<b>VBL</b>	Verkehrsbetriebe der Stadt Luzern
<b>VCT</b>	Virtually Coupled Train Formations
<b>VDV</b>	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
<b>VGC</b>	Volvo Emission Control
<b>VINEX</b>	Vierde Ruimteijke Ordening Nota Extra
<b>VLP</b>	Veículo Leve sobre Pneus
<b>WAP</b>	Wireless Application Protocol
<b>ZF</b>	Zahnradfabrik Friedrichshafen
<b>ZTV</b>	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
<b>ZVB</b>	Zugerland Verkehrsbetriebe



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Bus Rapid Transit, Busbahn, Dual-Mode-Bus-Systeme und Tramway sur Pneus – es stehen hierbei Fahrzeugkonzepte im Mittelpunkt, deren Ziel eine aufwandsarme Infrastruktur unter Verwendung der kostengünstigen Bustechnologie ist, und die darüber hinaus das positiv belegte Image einer Straßenbahn vermitteln und damit die Attraktivität und Akzeptanz des ÖPNV steigern wollen (**Bild 1**).

Die zahlreichen Fahrzeugkonzepte sind allesamt erneute Versuche einer optimierten Superposition des Verkehrssystems Straßenbahn mit dem modernen Linienbusverkehr. Ausgehend von dem Großserienprodukt Bus soll eine eigenständige Verkehrskategorie gebildet werden. Auch soll eine Alternative zu einer Schienenbahn geschaffen werden, denn die Busindustrie findet sowieso, dass viel zu viel Geld in Bahnsysteme fließt. Geworben wird mit berührungsfreien Spurregelungen, Monoschieneinführung, Brennstoffzelle, elektronischer Deichsel, bimodalen Fahrwerken und vielem mehr. Anders als beim Linienbusverkehr sind eigene, störungsfreie Fahrwege fester Bestandteil der Überlegungen.

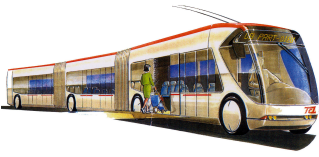
In dieser Aufbruchsstimmung ist bisher die Frage unbeantwortet geblieben, bei welcher verkehrsplanerischen Aufgabenstellung der Einsatz der innovativen Transportsysteme *zwischen Bus und Bahn*<sup>1</sup> überhaupt geeignet ist.

Eine große Erschwernis bei Bewertungen und Vergleichen ist die Tendenz zur geschönten Vorteilsbilanz der Fahrzeughersteller. Da es sich um neue Fahrzeugtypen handelt, gibt es auch für die Planungsbeteiligten kaum gesicherte Erkenntnisse, auf die zurückgegriffen werden könnte. So werden von den Fahrzeugherstellern zahlreiche Vorteile herausgestellt, die nur bedingt auf ein Fahrzeugkonzept „auf Gummireifen“ zurückzuführen sind. Was bei der Vielfalt der Fahrzeugkonzepte zunächst einmal fehlt, ist ein Bewertungsansatz, der ein objektives Urteil über die Eignung der Fahrzeugtypen einschließlich ihrer Betriebsanlagen ermöglicht.



**Bild 1: Bus Rapid Transit (BRT) und sein weltweit anerkanntes Vorzeigesystem: Hochfluriges Transportsystem zwischen Bus und Bahn in Curitiba, Brasilien. (VOLVO DO BRAZIL)**

<sup>1</sup> Im Hause des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) findet die Bezeichnung „Innovative Transportsysteme auf Basis der Bustechnologie“ Verwendung. „Intermediale“ oder „High-Performance“ Transportsysteme sind ebenfalls gebräuchliche Bezeichnungen. In den Niederlanden hat sich die Bezeichnung „Hoogwaardig Openbaar Vervoer“ (HOV), also „Hochwertiger (bzw. anspruchsvoller) öffentlicher Verkehr“ durchgesetzt. Die gewählte Bezeichnung „Nahverkehrssysteme zwischen Bus und Bahn“ orientiert sich an den Bezeichnungen „Rubber-tyred Intermediate Transport Systems“ bzw. „Système Intermediaire“, welche als gummibereifte „Zwischen“-Systeme übersetzt werden können.



**Bild 2: Unkonventionelles Transportsystem zwischen Bus und Bahn. Studie für die Stadt Caen. (TRANSDEV)**

Die Aktualität der Thematik lässt sich daran ablesen, dass die innovativen, teils bimodalen und auch hybriden Fahrzeugkonzepte zukünftig z. B. in Eindhoven (Phileas) und Utrecht (HOV; beide Niederlande), Las Vegas (USA), Clermont-Ferrand und Rouen (alle drei Civas), Caen und Nancy (GLT/TVR, Guided Light Transit/Transport sur Voie Réservée, die letzten vier Städte in Frankreich), Clermont-Ferrand, Padua (Italien) und Aquila (Italien, die letzten drei Translohr) sowie Triest (Probetrieb Stream, Italien) im innerstädtischen Linienverkehr zum Einsatz kommen werden oder bereits im Linieneinsatz sind (**Bild 2**).

## 1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, einen Planungsleitfaden über Transportsysteme zwischen Bus und Bahn für den Bereich der operativen Verkehrsplanung zu erstellen. Auf diese Weise soll Planungsbeteiligten eine konzeptionelle Entwurfs- und Entscheidungshilfe bei Neuplanungen an die Hand gegeben werden.

An den Anfang der Arbeit wird dazu eine technische Gegenüberstellung gesetzt. Im Mittelpunkt steht hierbei die „Hardware“ der neuen Nahverkehrssysteme, also das eigentliche Transportsystem, welches im Wesentlichen durch das Verkehrsmittel und seine entsprechenden Betriebsanlagen gekennzeichnet ist. Es werden zunächst einheitliche Begriffsdefinitionen und eine Klassifizierung erarbeitet, um eine Verständigung über die wesentlichen technischen Zusammenhänge zu erleichtern.

Als nächstes gilt es die Möglichkeiten des Einsatzes dieser Transportsysteme für städtische Verdichtungsräume offen zu legen. Eine Studie erster projektierte Systeme wird dargestellt. Bei diesen Betrachtungen soll weniger die Technik eine Rolle spielen als vielmehr die planerischen Einsatz- und Entwurfsparameter der Transportsysteme.

Darüber hinaus soll den Planungsbeteiligten ein Verfahren für eine verkehrsmittelgerechte Bewertung der Transportsysteme zur Verfügung gestellt werden, welches vor dem Hintergrund eines konkreten Verkehrsraumes bei einer Systemauswahl angewandt werden kann. Dort hinein werden letztlich die Erkenntnisse aus der technischen Untersuchung und der Gegenüberstellung der planerischen Entwurfs- und Einsatzgrößen einfließen.

Im Vordergrund soll hierbei vor allem eine differenzierte Betrachtung von Argumenten stehen, die üblicherweise für oder gegen ein Transportsystem herangezogen werden – und nicht etwa die Bewertung der Transportsysteme selbst.

### 1.3 Begriffserklärungen

Ehe auf Einzelfragen einer verkehrsmittelgerechten Einsatzplanung eingegangen wird, ist es zweckmäßig, die Begriffe Transportsystem und Nahverkehrssystem klar voneinander abzugrenzen.

Ein Transportsystem ist gebildet aus der Menge gleichartiger Fahrzeuge und dem zugehörigen Fahrweg. Auch die Regeleinrichtungen, die diese beiden Komponenten zu einem System verknüpfen, sind Bestandteile des Systems. Ein neuartiges Transportsystem für sich betrachtet ist aber noch kein vollständiges System. Erst die Integration in ein öffentliches Nahverkehrsangebot und eine umfassende Einführungsstrategie, die die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit fördert, vermag aus einem neuen Transportsystem ein hochwertiges und wirksames Nahverkehrssystem zu formen.

Die Kernaspekte eines wirksamen, städtischen Nahverkehrssystems hat der Autor in einem Beitrag im Rahmen einer Vortragsreihe an der Bergischen Universität Wuppertal, Fachzentrum Verkehr, Oktober 2000, wie folgt bezeichnet:



Abbildung 1: Systemübergreifende Kernaspekte eines wirksamen Nahverkehrssystems

- **Mobilitätsoptimierung** im Sinne abgestimmter Teilverkehrssysteme Pkw, Rad, zu Fuß, ÖPNV; verkehrslenkende und flankierende Maßnahmen (Zufahrtsbeschränkungen, Parkraumreduzierung); Differenzierte Bedienungsformen; Mobilitätsmanagement etc.,
- **Konkurrenzfähigkeit gegenüber MIV** – zuverlässiges, verfügbares und schnelles Verkehrsangebot mit sicheren Anschlüssen; Netzdichte, Dichte und Erreichbarkeit der Zugangsstellen, attraktive Tarifstruktur (günstige Gemeinschafts- bzw. Verbundtarife, Zeitkarten-Abonnement); bequemes Vertriebssystem etc.,
- **Wirtschaftlichkeit** – hohe Effektivität und Wirkungsgrade, professionelle Managementorganisation; Reduzierung von Kapital- und Betriebskosten (private Finanzierungsansätze; Verkehrsmittelwahl entsprechend dem Fahrgastaufkommen; kurze Umlaufzeiten) etc.,

- **Stadtgestaltung** – Re-Design der Innenstädte/Fußgängerzone; Orientierung der Siedlungsentwicklung an dem ÖPNV-System (Aufwertung von Stadtteilen durch attraktives Nahverkehrsangebot; Planung von Neuansiedlungen entsprechend den Linienästen) etc.,
- **Entschlossenheit** – zielgerichtetes Vorgehen (Eintracht innerhalb der Parteienlandschaft; erster Realisierungsschritt ist unumkehrbar) etc.,
- **Serviceorientierung** – Fahrgäste bedienen; sichere, saubere, freundliche Erlebniswelt für den Fahrgast; Ansprechpartner vor Ort; Beschwerdemanagement; Marketingstrategie unter Einbezug intermodaler Produktangebote (Fahrradbeförderung, AnrufSammelTaxi, Car-sharing, Autovermietung, Park-and-Ride etc.),
- **Fahrzeug und Fahrweg als System** – niederflurige und emissionsarme Fahrzeuge auf Eigentrassen (Beschleunigungs- und Bevorrechtigungsmaßnahmen, ÖPNV-Sonderfahrstreifen, besondere ÖPNV-Fahrwege); barrierefreie und standardisierte Haltestellen; Steuerungs- und Regelungseinrichtungen (LSA-Beeinflussung, Integration der Datenhaltungen, Betriebsstörungenmanagement); Fahrgastinformationselemente etc.,
- **Image** – vermittelnde Öffentlichkeitsarbeit („Tue Gutes und rede darüber“); Verkehrsmittel unterstreicht Einzigartigkeit der Stadt; Corporate-Design; politisches Marketing, Bewusstseinsbildung im Hinblick auf den gesellschaftlichen Nutzen.



**Bild 3:** So genannte *Vairie protégée* auf der Trans Val de Marne (TVM) in Paris – TCSP für Linienbusverkehr

Eine Bindung an ein bestimmtes Verkehrsmittel ist bei den dargestellten Kernaspekten, die die Integration in ein öffentliches Nahverkehrsangebot erst ermöglichen, nicht gegeben. Die Wirksamkeit eines Nahverkehrssystems ist vielmehr über organisatorische Merkmale charakterisiert, die *verkehrsmittelübergreifend* sind. In Frankreich zeigt sich die konsequente Weiterführung dieser Erkenntnis denn auch in dem Bestehen einer eigenen, verkehrsmittelübergreifenden Verkehrskategorie. Hier spricht man von TCSP: Transport Collectif en Site Propre – also Nahverkehr auf einer bevorrechtigten ÖPNV-Eigentrasse in einem hierarchisch aufgebauten ÖPNV-Vorrangnetz – ohne dass hierbei ein bestimmtes Verkehrsmittel im Vordergrund stehen muss (**Bild 3**).

Für die Erarbeitung einer verkehrsmittelgerechten Planung ist dieser Zusammenhang insofern von Bedeutung, da sich die o. g. Merkmale eines Nahverkehrssystems nicht dazu eignen, im Rahmen einer verkehrsmittelgerechten Einsatzplanung die Präferenzierung eines der unkonventionellen Transportsysteme zwischen Bus und Bahn zu ermöglichen. Die Untersuchung beschränkt sich deshalb in erster Linie nur auf Merkmale, die auch eindeutig einem bestimmten Verkehrsmittel zugeordnet werden können.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die einzelnen Untersuchungsschritte, Erkenntnisse und Empfehlungen der verkehrsmittelgerechten Einsatzplanung werden im vorliegenden Hauptteil der Arbeit wiedergegeben. Aufbauend auf den Erkenntnissen der technischen Untersuchung (Anhänge A - E) wird eine ganzheitliche Betrachtung der Transportsysteme vorgenommen. Es stehen hierbei zum einen das Zusammenwirken, zum anderen gegenseitige Abhängigkeiten der Einzelkomponenten eines Transportsystems im Vordergrund. Im Detail enthält der Hauptteil der Arbeit folgende Ausführungen:

**Kapitel 2** richtet den Blick auf bisherige Meilensteine der Entwicklung *unkonventioneller Transportsysteme* einschließlich ihrer prägenden Merkmale, so dass eine Klassifizierung aller Lösungsansätze zwischen Linienbusverkehr und dem Bahnverkehr Rad/Schiene möglich wird.

**Kapitel 3** stellt als Ergebnis einer umfassenden fahrzeug- und fahrwegseitigen Untersuchung eine vereinfachte Klassifizierung vor, die sich nur noch auf *marktreife Transportsysteme* beschränkt.

**Kapitel 4** leitet anhand beispielhafter Monographien verkehrsplanerische Entwurfs- und Einsatzgrößen ab, so dass vor dem Hintergrund eines konkreten Verkehrsraumes die Anzahl der marktreifen Transportsysteme auf eine Vorauswahl von *projektgeeigneten Transportsystemen* reduziert werden kann.

**Kapitel 5** widmet sich im Rahmen eines Planungsleitfadens detailliert den systemspezifischen Eigenschaften, den betriebstechnischen Anforderungen, der städtebaulichen Eignung sowie den wirtschaftlichen Auswirkungen, um die bisherige Auswahl eines *zielgerechten Transportsystems* in ausgewogener Weise unterstützen zu können.

**Kapitel 6** fasst schließlich die Ergebnisse zusammen.

Die technischen Untersuchungsergebnisse der neuartigen fahrzeug- und fahrwegseitigen Systemkomponenten (Kapitel 2 und 3) sind in den Anhängen A - E zusammengestellt. In den Anhängen werden die Komponenten „freigeschnitten“ dargestellt und hinsichtlich technischer Einzelfragen vertiefend erläutert. In den Anhängen werden folgende Einzelkomponenten behandelt:

**Anhang A** Fahrzeug- und Antriebskonzept

**Anhang B** Automatische Querführung

**Anhang C** Stromzuführung

**Anhang D:** Elektronische Deichsel

**Anhang E:** Fahrwegkonstruktionen

In den Anhangbänden werden hinsichtlich der fahrzeug- und fahrwegseitigen Systemkomponenten begriffliche Definitionen eingeführt, bisher gewonnene Erfahrungen zusammengestellt, der Stand der Entwicklung dokumentiert sowie zukünftige realistische Entwicklungsrichtungen abgeleitet.

## 2    **Derzeitiges Herstellerangebot zwischen Bus und Bahn**

### 2.1    **Der Markt der Transportsysteme**

Die heute den Markt maßgeblich beeinflussenden französischen Zwischensysteme beruhen auf dem Bestreben, kostengünstigere Transportsysteme im Vergleich zur Straßenbahnen zu entwickeln – ohne dabei aber weniger attraktiv zu sein. Mitauslöser der Entwicklung war ein Brief von Marcel Cavaillé, Staatssekretär des französischen Verkehrsministers. In dem unter seinem Namen bekannt gewordenen Brief (1975) an die größten Provinzstädte des Landes forderte Cavaillé die Städte auf, nach rasch und kostengünstig umzusetzenden verkehrstechnischen Lösungen für oberflächengebundene ÖPNV-Systeme zu suchen – mit einem Maximum an eigenen Fahrkörpern. Aufgrund der Energiekrise, des weiter ansteigenden und kaum zu bewältigenden Kraftfahrzeugaufkommens sowie eines oft sehr unattraktiven öffentlichen Verkehrs, war der Staat bereit, für eine stadtverträglichere Verkehrspolitik elektrische ÖPNV-Systeme finanziell zu fördern. Cavaillé betonte, dass es sich dabei um Straßenbahnen moderner Prägung handeln *könnte*. Kern der Cavaillé-Botschaft war allerdings nicht der Planungsauftrag für Straßenbahnen, sondern das Plädoyer für unbehindert befahrbare Hauptachsen in einem hierarchisch aufgebauten ÖPNV-Vorrangnetz – gleich von welchem Verkehrsmittel. Der Gedanke der unkonventionellen *Système Intermédiaire* als Alternative zur Rad/Schiene-Straßenbahn wurde geboren.

Die wichtigsten Lösungsansätze dieser und anderer unkonventioneller Fahrzeugtypen zwischen dem modernen Großserienprodukt Omnibus und der leichten Schienenbahn werden im Folgenden zunächst allgemein beschrieben. Sie werden chronologisch vorgestellt, um auch Beweggründe und Wertvorstellungen damaliger Rahmenbedingungen vermitteln zu können. Das Ziel ist letztlich eine Gruppierung der bisherigen Lösungsansätze, d. h. die einzelnen Bauarten sollen begrifflich einem eingeführten Fahrzeugtyp zugeordnet werden.



Betrachtet werden nachfolgend auf der einen Seite Buszüge, also vierachsige Straßenfahrzeuge mit Sonderlänge, sowie auf der anderen Seite spurgeführte Fahrzeuge auf Gummireifen im 30-m-Bereich bzw. zum weiterführenden Vergleich entsprechende leichte und aufwandsarme Fahrzeugtypen aus dem Bereich der Rad/Schiene-Technik.

Es werden damit ausschließlich Fahrzeugkonzepte zwischen dem modernen Linienbusverkehr und dem Bahnverkehr Rad/Schiene untersucht, wobei *niederflurige* Fahrzeugprodukte mit *vergleichbarer, hoher Beförderungskapazität* in den Vordergrund gerückt werden. Allen Fahrzeugkonzepten ist gemein, dass sie, anders als beispielsweise beim Linienbusverkehr, weitestgehend auf einer spezifischen Fahrweginfrastruktur eingesetzt werden und ferner, dass die Fahrzeugzulassung nicht ohne Weiteres mit der StVZO vereinbar ist.

## 2.2 Die Idee eines Dual-Mode-Konzeptes

Mit Beginn der siebziger Jahre stand besonders in Deutschland die Dual-Mode-Technik am Anfang aller Überlegungen eines Fahrgastbetriebs auf Basis eines hochwertigen und universell einsetzbaren Omnibusses. Die Dual-Mode-Technik bildete bereits in den siebziger Jahren im Förderungsprogramm des damaligen Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) einen der wesentlichen Schwerpunkte.

Unter den Begriff *Dual-Mode Bus* fällt hierbei gleichermaßen der Duobus (Bus mit bimodalem Antrieb) als auch der spurgeführte Omnibus, welcher anfangs auch als „automatisch quergeführter Bus“ bezeichnet wurde. Die Omnibusse mit elektronischer oder mechanischer Querführung sind als Dual-Mode Bus oder kurz und prägnant als Spurbus verkehrstechnisch eingeführt.

Der Dual-Mode Bus zeichnet sich im klassischen Sinne durch vier mögliche Kombinationen der Betriebsmodi aus, zwischen denen im Regelbetrieb annähernd übergangslos gewechselt werden kann:

- automatisch quergeführt und dieselbetrieben (Betrieb als Spurbus)
- automatisch quergeführt und Elektro-Modus (Betrieb als quergeführter Elektrobuss),
- handgelenkt und dieselbetrieben (Betrieb als Omnibus)
- handgelenkt und Elektro-Modus (Betrieb als Elektrobuss).

## 2.3 Richtungsweisende Forschungsprogramme

Neben der konventionellen Weiterentwicklung der Fahrzeuge und ihrer Ausstattung standen in den siebziger Jahren insbesondere bimodale Antriebe und Fragen des Fahrwegs im Vordergrund. Im Bereich der Fahr-



wegentwicklung befasste man sich mit Elementen der Fahrbahn und der Haltestelle, dann aber vor allem mit der Frage, wie sich ein Omnibus auf seinem Fahrweg selbsttätig lenken oder führen lässt. Den theoretischen Untersuchungen folgten praktische Erprobungen. Hierfür errichteten die Firmen Daimler-Benz in Rastatt und MAN in München auf ihrem jeweiligen Betriebsgelände Erprobungsanlagen. Auf der internationalen Verkehrsausstellung in Hamburg im Jahre 1979 hatte die Öffentlichkeit erstmals Gelegenheit, an Rundfahrten mit elektronisch und mechanisch quergeregelten Omnibussen teilzunehmen.

Ziel dieser Entwicklungen war es, das Verkehrsmittel Omnibus zu einem so genannten Busverkehrssystem zu erweitern. Dieses neuartige System sollte neben den bekannten Systemen Straßenbahn, Stadtbahn, U-Bahn und S-Bahn erweiterte verkehrstechnische Wahlmöglichkeiten schaffen und gleichzeitig – aufbauend auf dem vergleichsweise kostengünstigen Fahrzeug Omnibus – die Wirtschaftlichkeit bei den Bau- und Betriebskosten steigern (AHLBRECHT 1992, S. 1).

Aufgrund systematischer Vorüberlegungen und kritischer Analysen, dargestellt in der vom BMFT geförderten Studie *Dual-Mode-Bus-Systeme* von Dornier System und Dorsch Consult (1975), ging man zuvor davon aus, dass das Risiko der Entwicklung von bimodalen Busverkehrssystemen möglichst klein gehalten werden sollte. Hieraus folgte, dass Dual-Mode-Systeme – sowohl hinsichtlich des Antriebs als auch der Querführung – nur in *evolutionärer* Weise auf Basis der konventionellen Bustechnik in Angriff zu nehmen waren, also der Aufbau auf möglichst bewährte und erprobte Technologien zu setzen hatte.

## 2.4 Anwendungen des Spurbusses

Gefördert vom Bundesforschungsministerium ist so zum Beispiel 1980 in Essen eine erste spurgeführte ÖPNV-Trasse eröffnet worden (Fulerumer Straße), die mit modifizierten Standard-Fahrzeugen der Herstellerfirmen Mercedes-Benz Omnibusse und MAN befahren wurden. Später wurde im Verlauf der Wittenbergstraße eine Mischbetriebsstrecke Straßenbahn/Linienbus mit einer ergänzenden zweipoligen Fahrdrahtanlage für den Duobus eingerichtet, um die Einbeziehung eines Duospurbusses in den Straßenbahn-Innenstadttunnel vorzubereiten (**Bild 4**).

Losgelöst von dem Probetrieb in Essen benennen die Hersteller die Vorteile einer automatischen Querführung mit der Zulässigkeit hoher Fahrgeschwindigkeiten bis 100 km/h bei geringstem Platzanspruch und mit der damit verbundenen Steigerung der Leistungsfähigkeit. Ein gewichtiger Vorteil zum damaligen Omnibusverkehr – die Entwicklungstendenzen zum Niederflurverkehrssystem waren noch nicht absehbar – wurde des Weiteren in der genauen Anfahrt der Haltestellenplattformen mittels einseitiger Spurführung gesehen:



**Bild 4:** Mischbetrieb auf der Wittenbergstraße in Essen – Betrieb als spurgeführter Duobus (ESSENER VERKEHRS-AG)



Bild 5: Einer der beiden Zweirichtungsprototypen der O-Bahn auf der damaligen Versuchsanlage in Rastatt (MERCEDES-BENZ OMNIBUSSE)

- Die Mercedes-Benz O-Bahn stellt – ausgehend von dieser Entwicklung – ein komplettiertes Systemangebot auf einem durchgehenden unabhängigen Fahrbahnkörper aus Beton dar. Mercedes-Benz stellte im Jahr 1981 zwei vierachsige spurgeführte Doppelgelenkfahrzeuge für den Betrieb ausschließlich auf einer unabhängigen O-Bahntrasse her. Das bemerkenswerte Beispiel eines Großraumfahrzeugs aus Standardbus-Modulen ist auf der Hannover-Messe 1981 präsentiert worden und bestand aus zwei Gelenkbus-Vorderwagen und einem eingehängten Mittelteil. Diese dreiteiligen Hochflur-Versuchsfahrzeuge waren ausschließlich für den elektrischen Fahrbetrieb unter einer einpoligen, stadtbahnmäßigen Fahrdrähtanlage ausgelegt. Die Stromrückführung erfolgte über die Spurführungseinrichtung (Leitkante mit Metallband). Zwei Führerstände und Führungsrollen vor und hinter den einzelnen Achsen ermöglichten einen Zweirichtungsbetrieb. Es handelte sich um eine „Stadtbahn auf Gummireifen“. Straßenfahrt war hiermit nicht möglich. **(Bild 5).**



Bild 6: Versuchsanlage des Fura Fila-Systems in São Paulo, Brasilien (MARTIRE)

Bis 2001 befand sich in São Paulo, Brasilien, ein ähnliches, hochfluriges Transportsystem in der Erprobung, das Fura-Fila-System (Veículo Leve sobre Pneus, VLP). Hier sollten vierachsige Doppelgelenk-Obusse mit mechanischer Querführung im elektrischen Fahrbetrieb zum Einsatz kommen **(Bild 6)**. Das Projekt wird zur Zeit vollständig überarbeitet, wobei auf den ursprünglich geplanten unabhängigen Fahrbahnkörper mit seitlichen Leitkanten aus Kostengründen verzichtet wird.

Neben dem Essener Spurbus sind weltweit weitere Anwendungen mit quergeführten Standard- und Gelenkbussen realisiert: Mannheim (Mischbetriebsstrecke mit der Straßenbahn), Adelaide (Busway Adelaide, Australien), Leeds (Superbus), Bradford (Quality Bus Route), Ipswich (Superroute), Gatwick (Fastway, die letzten vier Großbritannien) und Nagoya (Shidami-Linie, Japan).

Neben den mechanischen sind auch elektronische Lenksysteme erprobt worden. In den Statusseminaren Nahverkehr wurde seit 1975 über die „berührungsfreie“ Spurregelung an einem Leitkabel bei Bussen berichtet. In den Jahren 1984/85 fand in Fürth ein vom Bundesforschungsministerium geförderter Demonstrationsbetrieb statt. In dieser Zeit wurden bis zu drei Busse der Hersteller MAN und Daimler-Benz in Fürth eingesetzt. Ein Referenzbetrieb erfolgte aber nicht.

## 2.5 Bimodale Antriebstechnik

Parallel zur Querführungstechnik wurden weitere signifikante Entwicklungen im Bereich bimodaler Antriebstechnik vorangetrieben. Als Vorteile dieselbetriebener Fahrzeuge werden zwar geringe Infrastrukturkosten, Seriefertigung, einfache Handhabung, Mitbenutzung vorhandener Stra-

ßen, hohe Energiedichte des Diesel-Kraftstoffes sowie hohe betriebliche Flexibilität genannt, als nachteilig stellte sich die Abhängigkeit von Erdöl und die lokale Emissionslast heraus, damals noch gut sichtbar als Rußwolke. Gerade in den siebziger Jahren fielen diese Nachteile stark ins Gewicht, da Dieselkraftstoff zum einen knapp und teuer war und zum anderen Umweltaspekte zunehmend an Bedeutung gewannen.

Der elektrische Antrieb bot hier eine gewisse Unabhängigkeit von der Preisspirale bei der Erdölproduktion und darüber hinaus einen lokal emissionsfreien Fahrbetrieb – wobei diese beiden Vorteile mit der Einrichtung einer doppelpoligen Fahrleitungsanlage und einem höheren Fahrzeuggewicht verknüpft sind. Der Duo-Obus mit jeweils zwei vollwertigen Fahrantrieben – einem Dieselaggregat (oder einer Batterie für den Antrieb) und einer abschnittswisen Oberleitungsanlage – sollte mittels Verschmelzung der Vorteilsbilanzen neue Spielräume bei einer verkehrsmittelgerechten ÖPNV-Planung ermöglichen.

Ein erstes Duo-Obus-Konzept wurde in Deutschland im Frühjahr 1975 von der Daimler-Benz AG als Netz-/Batterie-Fahrzeug fertiggestellt. Zwei weiterentwickelte Fahrzeuge Mercedes O 305 B sind im Fahrgastprobetrieb ab 1979 in Esslingen eingesetzt worden, es folgten drei weitere Netz-/Diesel-Fahrzeuge. Überarbeitete Fahrzeugversionen sind in Esslingen (zwei Mercedes Benz O 405 GTD ab Ende 1983) und Essen (ab Mai 1983 ein Mercedes Benz O 405 GTD und ein MAN SG 240 H Duo, beide mit automatischer Querführungsvorrichtung) im Fahrgastbetrieb getestet worden und schließlich auch als Kleinserie im Betriebsalltag zum Einsatz gekommen.

Nicht nur in Deutschland, auch in Frankreich wurde die Duobusentwicklung bei R.V.I. (Renault Véhicules Industriels) im Zuge der Energiekrise forciert: Ab 1973 wurde der Solo-Duobus Renault ER 100R/ER 100H entwickelt und zur Einsatzreife gebracht, teilweise auch mit Nickel-Cadmium-Batterie. Im Jahr 1982 wurden 48 Diesel-/Netz-Serienfahrzeuge Renault PER 180H in einer Gelenkausführung sowohl mit einem vollwertigen elektrischen (Choppersteuerung), als auch einem diesel-hydrmechanischen Fahrantrieb zuerst an die Stadt Nancy, später auch an die Städte St. Etienne und Grenoble ausgeliefert. Aus der Zeit der frühen achtziger Jahre stammen weitere Konstruktionsentwürfe von Duo-Obussen in den Niederlanden (Van Hool/Kiepe), Schweiz (Volvo/ABB), Finnland (SWS Trolleybus) und Italien (Mauri, Fiat).

Seit Winter 1996 findet eine weitere Variante des Duobusses Beachtung. Das Konzept von AnsaldoBreda, genannt Stream (Sistema di Trasporto Elettrico ad Attrazione Magnetica), umfasst ebenfalls ein bimodales Fahrzeug, das einerseits für die elektrische Energieversorgung über eine straßenbündige Stromzuführung ausgerüstet ist und andererseits über eine an Bord befindliche Traktionsbatterie verfügt:



Bild 7: Duo-Elektrobus in Triest. Der Gleitschlitten des Stromabnehmers, angebracht unter dem Wagenkasten, bestreicht die straßenbündig verlegte Stromschiene. (ANSALDO BREDA)

- Das System *Stream* ist als ein Netz-/Batterie-Bus mit abschnittsweiser straßenbündiger Stromzuführung (Duo-Elektrobus) zu bezeichnen. Derzeit ist der Technologieträger ein Niederflur-Elektrobus N 6114 des Fahrzeugherstellers Neoplan mit Batteriehilfsantrieb. Ein Gelenk-Elektrobus N 6121 steht ebenfalls zur Verfügung. Die Batteriebusse sind mit einem unter dem Fahrzeugrahmen kardanisch aufgehängten Gleitschlitten als Stromabnehmer ausgestattet, der einen Kontaktschuh als Schleifer mit sich führt. Die Omnibusse sind optional für eine automatische Spurregelung vorbereitet, jedoch wird eine Anwendung zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ins Auge gefasst. Es sollten auch Tests auf einer Demonstrationsstrecke im Rahmen eines Versuchs der Azienda Consorziale Trasporti (ACT) im Stadtzentrum von Triest durchgeführt werden, jedoch erfolgte bisher noch keine allgemeine Zulassung des Stromzuführungssystems, wohl aber Mitte 2002 eine „Notice to operate“ (**Bild 7**).

## 2.6 Les Systèmes guidés sur Pneus – französische Neuentwicklungen

Losgelöst von den Obus-Entwicklungen der frühen achtziger Jahre wurden Mitte der neunziger Jahre in Frankreich die ersten anwendungsreifen Neuentwicklungen unkonventioneller Transportsysteme auf Basis der Bustechnologie vorgestellt. Während der UITP-Ausstellung (Union Internationale des Transports Publics) 1997 in Stuttgart wurde schließlich ein GIE (Groupement d'Intérêt Economique) gegründet. Teilnehmer des GIE kommen aus der Industrie ANF Industrie/SPIE Enertrans, Lohr Industrie, Matra, Renault und Michelin. Von der Betreiberseite beteiligen sich u. a. die RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens), Transdev sowie Cariane (Bustochter der französischen Staatseisenbahn SNCF). Seitens der Verkehrsbehörden und Aufgabenträger nehmen teil: Syndicat des Transport Parisiens, Syndicat Clermont-Ferrand, SMTCAC Caen (Syndicat Mixte des Transport en Communale l'Agglomération Caennaise), PREDIT (Programme Recherche Innovation Transport Terrestres), GART (Groupement des Autorités Responsables de Transport).

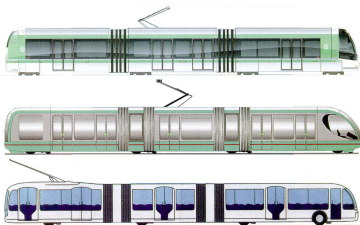


Bild 8: Entwurf der drei innovativen Transportsysteme, die auf der TVM getestet werden sollten. Oben: GLT/TVR; Mitte: Translohr; unten: Civis (1997, GIE-TVM)

Auf der TVM-Strecke (Trans Val de Marne) in Paris (Rungis Marché International – Saint-Maur Créteil), einem 1993 eröffneten Bussystem auf eigener, 12 km langer ÖPNV-Trasse in Mittellage, sollten Technologie und Wirtschaftlichkeit von abschnittsweise quergeführten, gummiereiften Transportsystemen, zulassungsfähig auf Basis der in Frankreich geltenden nationalen Vorschriften, unter Beweis gestellt werden. Anders als bei den Spurbussen mit aufragenden Leitkanten, sollten nur Fahrzeugtypen zum Einsatz kommen, deren Fahrweg auch von allen anderen Straßenverkehrsteilnehmern höhengleich gequert werden kann (**Bild 8**).

Angestrebt wurde, die drei entwickelten, innovativen Transportsysteme der französischen Industrie unter ähnlichen Einsatzbedingungen zeitlich nacheinander in einem Probetrieb mit Fahrgästen einzusetzen und einer Bewertung zu unterziehen. Im Gegensatz zu den Bestrebungen der siebziger Jahre stellen die vorgestellten Fahrzeugkonzepte vollständige Neuentwicklungen dar. In Frankreich lautet die Bezeichnung der Verkehrsmittel zwischen Bus und Bahn *Systèmes guidés sur Pneus* bzw. *Systèmes intermédiaires*. Hierzu zählen die Bauarten GLT/TVR, Translohr und Civis:

- Der *GLT/TVR* (Guided Light Transit/Transport sur Voie Réservee) von ANF Industrie/SPIE Enertrans, heute zugehörig zu Bombardier Transportation, ist von der Konzeption her ein diesel-elektrisch angetriebener, vierachsiger Duo-Doppelgelenkbus, der abschnittsweise an einer Mittelschiene in der Fahrbahn geführt werden soll, ebenso aber auch handgelenkt über eine Allradlenkung steuerbar ist. Der rund 24,50 m lange GLT/TVR kommt aktuell in Nancy und in Caen (Frankreich) zum Einsatz (**Bild 9**).



Bild 9: Studie des niederflurigen GLT 2000 (BOMBARDIER EURORAIL)

Die mechanische Spurführung an einer Monoschiene ist 1985 ursprünglich von der damaligen belgischen Waggonfabrik BN (Brugeoise et Nivelles), Brügge, heute Teil von Bombardier Transportation, entwickelt worden. Der diesel-elektrische Doppelgelenk-Duobus erhielt die Bezeichnung MLP (*Méto Léger sur Pneus*). Nunmehr als GLT (Guided Light Transit) bezeichnet, pendelten zwei hochflurige Doppelgelenk-Duobusse mit einem Chopper-Obusantrieb und einer Dieseleinheitsabtriebseinheit ab 1988 im Linienverkehr jeweils im Sommerhalbjahr zwischen Jemelle und Rochefort (Belgien) auf einer eingleisigen, umgebauten Eisenbahntrasse über 4 km Länge unter Fahrdrabt und anschließend diesel-elektrisch weiter über Han-sur-Lesse bis Levisse (10 km; HONDIUS 1990, S. 70).



Bild 10: Studie des GLT/TVR mit Stromabnehmerstangen für Nancy (BOMBARDIER TRANSPORTATION)

Als die französische Stadt Caen im Jahr 1993 Interesse an dem spurgeführten Doppelgelenkbus bekundete, wurde als eine dritte Version ein niederfluriger Dual-Mode-Prototyp entwickelt, der 1996 die Straßenzulassung erhielt. 1997 wurde der abermals umbenannte TVR (Transport sur Voie Réservee) im Fahrgastbetrieb von der RATP auf der TVM über immerhin 30.000 km erprobt. Nach mehreren Anläufen gelang es schließlich, in Caen – ein 15,7 km langes System mit 24 Fahrzeugen – und in Nancy – 9 km geführt und 3 km als Obus mit 25 Fahrzeugen – erste Aufträge zu bekommen. In Caen wird eine Einfachfahrleitung verwendet, da die Schiene als Rückleiter benutzt werden kann. In Nancy wird dagegen die vom Duobus-Netz her bereits weitgehend bestehende doppelpolige Obusfahrleitung verwendet (**Bild 10**). Ferner ist dort eine 14%ige Steigung zu bewältigen.



Die Fahrzeugbestellung der CUGN (Centre Urbaine du Grand Nancy), dem Aufgabenträger der Stadt Nancy, erfolgte 1998 bei Bombardier (Crespin, Nordfrankreich). Das designmäßig weiter angepasste Fahrzeug TPGN (Tramway sur Pneus du Grand Nancy) kann im Dezember 2000 erstmalig nach seiner Zulassung als Sonderfahrzeug des öffentlichen Personentransports mit einer Betriebsgenehmigung des Präfekten im Linienerkehr zum Einsatz. Der zwischenzeitlich unterbrochene Fahrgastbetrieb ist ab März 2002 nach fahrzeugtechnischen und streckenseitigen Nachbesserungen stufenweise wieder aufgenommen worden. Dennoch ist es wiederholt zu weiteren Entgleisungen der Schienen-Fahrwerke gekommen.



Bild 11: Erster Entwurf des Translohr für das STP in Paris (LOHR INDUSTRIE)

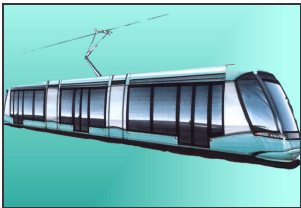


Bild 12: Ausführungsstudie des modular aufgebauten Translohr (LOHR INDUSTRIE)

Eine weitere Fahrzeugvariante, die auf der TVM im Fahrgastbetrieb erprobt wurde, ist der „Translohr“ von Lohr Industrie. Der Anlass der Fahrzeugentwicklung im Hause Lohr Industrie war zunächst die Ausschreibung in Caen, später kam hinzu, dass in Paris das damalige STP (Syndicat des Transports Parisiens), neu STIF (Syndicat des Transports d'Ile de France), auf einer Halbmesselinie eine entsprechende Straßenbahn auf Gummireifen mit einer Wagenkastenbreite von 2,20 m, einer Fahrzeuglänge von 32,50 m und einer Spurführung über die gesamte Strecke projektierte (**Bild 11**). Im Vordergrund stand hier ein minimaler Verkehrsflächenbedarf, um einen bevorrechtigten Betrieb durch einen durchgängigen, besonderen ÖPNV-Fahrbahnkörper sicherstellen zu können. Bei der Vorplanung dieser gummibereiften Straßenbahn wurde entsprechend den örtlichen Streckenverhältnissen festgestellt, dass nur durch eine automatische Querführung und die Wahl eines kleinprofiligen Wagenkastens eine Vielzahl von Grundstücksankäufen vermieden werden könnte:

- Der *Translohr* (Lohr Industrie) ist als eine elektrisch betriebene Leitschienenbahn auf Gummireifen einzustufen, also mit Oberleitungsanlage, permanent spurgeführt an einer Monoschiene, optional für Mehrfachtraktion kupplungsfähig. Der Translohr basiert auf einem modularen Fahrzeugsystem, um das Fahrzeug unterschiedlichen Kapazitäten und verschiedenen Bedürfnissen des Marktes anzupassen (**Bild 12**).



Bild 13: Planungseinsatzstudie des Translohr in der französischen Stadt Clermont-Ferrand (Vision, LOHR INDUSTRIE)

Ab 1997 wurde in Duppigheim von dem Hersteller Lohr Industrie forciert an dem Konzept einer Kleinprofilstraßenbahn auf Gummireifen (Système de Transport Electrique sur Pneus, STEP) gearbeitet. Lohr Industrie hat neben zwei Versuchsträgern auch einen dreiteiligen Prototypen gefertigt. Der 25,00 m lange Prototyp mit der Bezeichnung Translohr SE 3, für einen spurtreuen Fahrbetrieb in Handlenkung ursprünglich noch mit elektro-hydraulischer Anlenkung aller Achsen und einem Lenkrad ausgestattet, befand sich seit November 2000 in Paris auf der TVM und ist dort bis März 2001 im Testbetrieb mit Spurführung erprobt worden.

Der Antrieb erfolgte wie beim TVR/GLT in Anlehnung an den üblichen elektrischen Bahnbetrieb. Zwar sollte für den autonomen Einsatz auf der TVM der Translohr ursprünglich mit einer Gasturbine als Generator ausgestattet werden, auf eine entsprechende Fahrzeuganpassung ist aber verzichtet worden, da Lohr Industrie in erster Linie auf eine bewährte Einfach-Fahrdrahtanlage zurückgreifen möchte, nach Wunsch gegebenenfalls ergänzt um eine herkömmliche Traktionsbatterie bzw. eine kleine Notfahrbatterie.

Mittlerweile liegt für Paris im Rahmen des *Contrat de Plan Etat – Région Ile-de-France 2000/2006* ein Beschluss vor, eine Straßenbahn auf Gummireifen von St-Denis nach Garges (Nr. 21 des Contrat de Plan) zu bauen – vorbehaltlich der noch ausstehenden Ausschreibung. Darüber hinaus steht fest, dass der Translohr 2005 auf einer im Bau befindlichen, 12 km langen Strecke in Clermont-Ferrand (23 vierteilige Fahrzeuge) zum Einsatz kommen wird. Auch in den italienischen Städten Padua (10,5 km, 14 dreiteilige Fahrzeuge) und L'Aquila (5,7 km, 7 dreiteilige Fahrzeuge) liegen Vertragsabschlüsse vor, wenngleich noch Rechtsunsicherheiten vor dem Baubeginn zu klären sind. **(Bild 13 u. 14).**



**Bild 14:** Planungseinsatzstudie des Translohr in der italienischen Stadt Padua. (Vision, LOHR INDUSTRIE)

Die dritte innovative französische Fahrzeugentwicklung ist der Cavis:

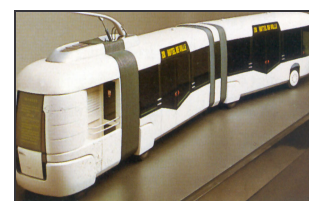
- Die Bauart *Civis* (Irisbus/Iveco Gruppe) entspricht von der Fahrzeugtechnik her weitestgehend dem Designer-Niederflur-Obus Crystalis mit Radnabenantrieb, der in drei französischen Städten (Limoges, Lyon, St. Etienne) die veralteten Obusse ersetzen wird. Abweichend ist bei dem Fahrzeugkonzept Cavis der Fahrerarbeitsplatz mittig eingerichtet, und es ist mit dem optischen Lenksystem Visée von Matra Transport ausgerüstet **(Bild 15)**. Als Lenksignal dient hierbei eine Linienmarkierung, die auf die Straßenoberfläche aufgetragen wird. Aufgrund seines diesel-elektrischen Antriebs und seines neuartigen Lenksystems – aber auch wegen des Design- und Marketingkonzepts – gilt der Cavis als „Busbahn“-Vorreiter.



**Bild 15:** Cavis als Einfach-Gelenkbus (Ausführung Clermont-Ferrand, IRISBUS)

Zur Zeit ist noch völlig offen, ob der geplante Demonstrationseinsatz des Cavis auf der TVM stattfinden wird, da die französische Stadt Rouen ein mit Cavis-Fahrzeugen betriebenes Bussystem auf überwiegend eigener ÖPNV-Trasse, TEOR (Transport Est-Ouest Rouennais), aufbaut und die TVM damit für den Hersteller ihre Bedeutung als Referenzstrecke verloren hat. Bis heute hat Rouen 35 Agora mit optischer Spurregelung und zwei diesel-elektrische Cavis (Testfahrzeuge mit seitlichem Fahrerarbeitsplatz, 18,00 m lang) fest bestellt. Später sollen weitere 55 Cavis zwischen 2003-2006 geliefert werden, um in einer zweiten Phase die Agora-Fahrzeuge zu ersetzen.

Darüber hinaus wird die optische Spurregelung in Clermont-Ferrand auf einer „Ligne Expérimentale“ (Léo 2000, Liaison Est-Ouest) an sechs angemieteten Gelenkbussen des Typs Renault Agora im Fahrgastbetrieb erprobt. Zur Zeit werden die Agora-Fahrzeuge durch 6 Cavis ersetzt.



**Abbildung 16:** Eines der ersten Cavis-Modelle (TRANSDEV)



Bild 17: Civis-Studie als Doppelgelenker –  
geplanter Einsatz in Berlin 2005  
(RENAULT I.V.)

Die Citizen Area Transit (CAT) in Las Vegas unterschrieb eine Absichtserklärung für die Lieferung von fünf diesel-elektrischen Civis für eine 6 km lange Demonstrationsstrecke, Lieferung Anfang 2003. Es liegt eine Option für fünf weitere Civis vor, Lieferung bei Einlösung 2004.

Auch wird das optische Leitsystem an eine Doppelgelenk-Variante angepasst. Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) zeigen Interesse, ein derartiges Fahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb versuchsweise auf einer 6 km langen Strecke einzusetzen. **(Bild 16 u. 17).**

## 2.7 Das Projekt RUBIS

Ausgehend von dem 1999 abgeschlossenen Probebetrieb des GLT/TVR auf dem Erprobungsabschnitt TVM entwickelte sich unter Federführung der Pariser RATP der Gedanke des europäischen Forschungsprojekts RUBIS (Rubber-tyred Intermediate Transport System), welches über die Dauer von 36 Monaten u. a. verschiedene Querführungstechniken bei ergänzenden, beispielhaften Demonstrationsvorhaben untersuchen und bewerten soll.

Die Zielsetzung beinhaltet eine enge Zusammenarbeit von Verkehrsbetriebern, Behörden und Herstellern, um Fragen der Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Genehmigungsfähigkeit und nicht zuletzt der möglichen Marktdurchdringung zu klären. Über das RUBIS-Konsortium engagieren sich beispielsweise: Transport of London, FirstGroup (Großbritannien), RATP, Transdev, SMTC (Clermont-Ferrand), CUGN (Nancy), Alstom, Matra, ANF, Lohr Industrie, INRETS, CERTU (alle Frankreich), CRT Madrid, Irisbus (Spanien), ATC (Triest), AnsaldoBreda, ATAC (Rom), Universität Rom (alle Italien), Universität Lund in Schweden und die Bergische Universität Wuppertal; ebenso ist auch eine European Advisory Group mit potentiellen Nutzern gegründet worden.

Ergebnisse der Marktanalyse, Durchführung der Evaluationsmethoden im Rahmen der Demonstrationsstrecken, Sicherheit und Betriebstauglichkeit der innovativen Techniken sollten die Hauptbestandteile eines Abschlussberichts im Rahmen eines europäischen Forschungsprogramms sein. Die europäische Kommission bemängelte vermutlich die überdeutliche wirtschaftliche Interessenausrichtung und stimmte dem Antrag nicht zu.

Dennoch wird ein Informationsaustausch auch weiterhin von der RATP organisiert. Welche Demonstrationsvorhaben sollen nun konkret innerhalb des RUBIS-Projekts in Angriff genommen werden? Auf der TVM in Paris ist ab Frühjahr 2001 die Querführungstechnik des Translohr über einen spurgeführten Abschnitt von 1,5 km erprobt worden. In Nancy (Frankreich) wird mit dem GLT/TVR eine mechanische Spurführung an



einer Monoschiene und in Clermont-Ferrand mit dem Civis eine optische Spurregelung im allgemeinen Fahrgastbetrieb angewendet. Aus Leeds (Großbritannien) fließen Erkenntnisse aus der Erweiterung des vorhandenen Spurbus-Systems mit ein. Darüber hinaus sollte ab Ende 2002 eine Bewertung der straßenbündigen Stromzuführung in Triest (Italien) mit Elektrobussen von AnsaldoBreda (System Stream) durchgeführt werden.

## 2.8 Weitere Entwicklungen zur Busbahn

Drei technische Entwicklungen im Bereich einer Busbahn mit Auswirkungen auf künftige, mehrteilige vierachsige Niederflur-Buszüge sind bemerkenswert: Zum einen der Einsatz von 17 Einfach-Gelenkversionen *MB 0 405 GNDE* (EvoBus/Mercedes-Benz Omnibusse) mit radnaher Motorentechnik in Stuttgart, des Weiteren die Serienfertigung von 28 Duogelenkbussen *N 6121 STS* des Herstellers Neoplan für die Verkehrsbetriebe in Lausanne (Schweiz), ebenfalls mit radnaher Motortechnik, sowie das Busbahn-Projekt *Phileas* in Eindhoven (Niederlande). Die o. g. Fahrzeugbauarten sind allesamt vor dem Hintergrund eines vierachsigen Doppelgelenkers konzipiert worden, wenngleich die abgelieferten Fahrzeuge zunächst noch als Einfach-Gelenkvarianten in den Betrieb gegangen sind oder gehen werden.

- Den Fahrzeugtyp *Mercedes-Benz 0 405 GNDE*, ausgestattet mit radnahen Motoren an den beiden hinteren Achsen, nahmen die SSB (Stuttgarter Straßenbahnen AG) zum 52. UITP-Weltkongress Anfang Juni 1997 auf ihrer Linie 42 in Betrieb. Im Anlieferungszustand hatten die diesel-elektrischen Busse allerdings so schlechte Fahrleistungen, dass ein Einsatz im Linienverkehr gefährdet war. Insbesondere die unzureichende Wirkleistung des Generators im Zusammenspiel mit der Dieselmotordrehzahl führte zu zahlreichen Anpassungen, um eine ausreichende Betriebsabwicklung sicherstellen zu können. Des Weiteren zeigte sich, dass die Instandhaltung der Fahrzeuge äußerst kostenintensiv ist. Mittlerweile steht fest, dass die SSB nur noch vier *0 405 GNDE* in der Betriebserprobung behält.

EvoBus/ZF hat mit dem Einsatz des diesel-elektrischen Antriebs viel Lehrgeld zahlen müssen, welches den anderen Herstellern mit ihren aktuell ausgelieferten Fahrzeugen möglicherweise ebenfalls nicht erspart bleiben dürfte. EvoBus wäre zwar nach wie vor bereit, eine modifizierte 24,00 m lange Doppelgelenk-Variante des *MB 0 405 GNDE* zu bauen, allerdings stellt man auch klar, dass der Besteller einen Großteil der weiteren Entwicklungskosten zu tragen hätte. Ein fertiggestellter Verkaufsprospekt dieser diesel-elektrischen Doppelgelenk-Variante ist jedenfalls nie veröffentlicht worden (**Bild 18**).



Bild 18: Studie einer mehrgliedrigen Busbahn auf Basis des MB 0 405 GNDE (EvoBus)



Bild 19: Transportsystem zwischen Bus und Bahn – Neoplan 6141 DET (NEOPLAN)



Bild 20: Neoplan Mehrgelenkombibus N 6141 (Modell, REGIO TRANS 2001)



Bild 21: Ende 2003 soll Phileas in Eindhoven seinen Fahrgastbetrieb aufnehmen (Modell, APTS)

Eine ähnliche Bestellung wickelte auch der Hersteller Neoplan ab. Der Stuttgarter Omnibusbauer lieferte ab Sommer 2001 28 Duo-Gelenkbusse mit der Bezeichnung Duo-Trolley-Hybridbus N 6121 STS (STS wird für Spezial-Transport-Systeme geführt) in die Schweiz. Optional sind diese Fahrzeuge für eine Spurregelung an einem Leitdraht vorbereitet. Bei den Lausanner Verkehrsbetrieben bestehen auch Überlegungen in Bezug auf Realisierung des N 6121 als Multigelenk-Fahrzeug:

- Die Kurzbezeichnung *Neoplan N 6141 STS* steht für eine verlängerte vierachsige Version und misst 24,00 m in der Länge. Im Heck des Fahrzeugs ist als Powerpack ein Dieselmotor einschließlich Generatoreinheit untergebracht. Dessen Energie bzw. die über die Oberleitung bezogene Energie treibt die sechs radnahen Motoren der hinteren drei Achsen an. Alle Achsen sollen angelenkt werden. **(Bild 19 u. 20).**

Ein weiteres anspruchsvolles Projekt trägt den Namen „Phileas“ und wird zur Zeit in den Niederlanden umgesetzt. Der Zweckverband der Region Eindhoven (SRE, Samenwerkingsverband Regio Eindhoven) hat den Beschluss gefasst, eine 15 km lange Demonstrationslinie Eindhoven Hbf – Meerhoven – Eindhoven Airport/City Centrum Veldhoven zu bauen. Die eingesetzten Fahrzeuge von APTS/Berkhof, u. a. auch ein Doppelgelenkbus, sollen auf eigenen, störungsfreien ÖPNV-Trassen über eine bordautonome elektronische Wegkarte berührungsfrei spurgeregelt werden, wobei ein Abgleich mittels „Ortsbaken“ in der Fahrbahn erfolgt. Das Lenksystem mit seinem magnetischen Referenzsystem nennt sich FROG (Free Ranging On Grid). Die vorerst elf Einfach-Gelenkversionen und zwei Doppelgelenker werden von APTS B.V. (Advanced Public Transport Systems) entwickelt und gebaut. Die ersten Prototypen sind zu Anfang des Jahres 2002 vorgestellt worden:

- Der *Phileas* ist als vierachsiger Doppelgelenker 23,88 m lang (wahlweise auch 25,28 m) und 2,54 m breit. Alle Achsen sind elektrohydraulisch gesteuert. Der Antrieb (außer Vorderachse) erfolgt über an der Karosserie aufgehängte, radnahe Motoren, wobei die elektrische Energie durch eine Flüssiggas-Motor/Generatorgruppe erzeugt wird. Mittels Batterie soll außerdem rund ein Kilometer in der Innenstadt abgasfrei gefahren werden. Die Doppelgelenk-Version wiegt knapp über 21 t, was durch die Verwendung einer modularen Kunststoff/Aluminium-Schalenbauweise verwirklicht wird **(Bild 21).**
- Das *Intelligent Multi-Mode Transit System* (IMTS) des japanischen Herstellers Toyota stellt einen vorläufigen technischen Höhepunkt moderner Bustechnologie dar. Hierbei werden autarke Einzelfahrzeuge berührungsfrei über eine so genannte elektronische Deichsel zu Bus-Zugverbänden gekuppelt. Die Spurregelung erfolgt

elektromagnetisch durch Abtasten von magnetischen Positionsmarkern, die auf die Fahrbahnoberfläche aufgedübelt werden. Es lassen sich bis zu sechs Einzelfahrzeuge aneinander kuppeln, so dass je nach Platzbedarf bis zu 480 Fahrgäste (pro Bus maximal 80 Plätze) transportiert werden können (**Bild 22**).



**Bild 22:** Toyota und eine Variante der elektronischen Deichsel. (SPIEGEL ONLINE/TOYOTA)

## 2.9 Oberhausen: Buszüge im Fahrgastprobetrieb

Neben der TVM in Paris und dem RUBIS-Projekt diente auch die Nahverkehrstrasse zwischen Sterkrade und Alt-Oberhausen einem vielbeachteten Praxistest mit niederflurigen Buszügen konventioneller Bauart. Unter einem Buszug wird hierbei ein vierachsiges ÖPNV-Fahrzeug mit Sonderlänge verstanden. Ein Buszug kann aufgebaut sein als Solobus mit Personenanhänger oder als durchgängig begehbare Doppelgelenker.

Die ÖPNV-Trasse in Oberhausen wird vom Individualverkehr unabhängig geführt und erschließt das *Centro*, ein multifunktionales Freizeit-, Einzelhandels-, und Dienstleistungszentrum zwischen Sterkrade und Alt-Oberhausen, angesiedelt auf dem Gelände einer Industriebrache. Die STOAG (Stadtwerke Oberhausen AG) testeten hier mit Ausnahmegegenehmigung der zuständigen Bezirksregierung Düsseldorf und einer kraftfahrzeugtechnischen Zulassung auf Basis eines Gutachtens des TÜV Kraftfahrt, Köln, zwei moderne Großraumfahrzeuge im Fahrgastbetrieb, und zwar den belgischen Doppelgelenkbus AGG 300 des Herstellers Van Hool und den schwedisch-schweizerischen Anhängerzug von Scania/Hess, insbesondere um Erkenntnisse über die Bewältigung von Spitzenverkehren zu erhalten (DEUTSCH/PÜTZ 2003, S. 8):

- Der Doppelgelenkbus Van Hool AGG 300, Baujahr 1992, wurde in den Monaten Februar und März 1998 getestet (**Bild 23**). Der dieselhydromechanische Antrieb ist im vorderen Wagenteil an der linken Seite angeordnet. Ansonsten ist das Fahrzeug auf der gesamten Länge niederflurig. Die Nachläuferachsen der beiden hinteren Wagenteile sind mit einer aproportionalen Nockensteuerung ausgerüstet. Ein mechanisches Lenkgestänge sorgt dafür, dass der zweite und dritte Wagenteil spurtreu dem Zugfahrzeug folgt. Durch die Anlenkung der Achsen kann die Schleppkurve stark reduziert werden.

Das Oberhausener Demonstrationsfahrzeug wurde ähnlich lange u. a. auch in Luxemburg, Genf und Algier einem Praxistest unterzogen. Im planmäßigen Fahrgastbetrieb kam bis vor kurzem allerdings nur ein Fahrzeug in Belgien zum Einsatz: Die TEC (Transport en Commun en Wallonie) setzen ihren 1998 gelieferten „Tribus“ im Spitzenverkehr auf der Lütticher Universitätslinie 48, Théâtre – Sart-Tilman ein (**Bild 24**). Aktuell setzen aber auch die GVU (Gemeentelijk Vervoerbedrijf Utrecht) 15 Van Hool Doppelgelenkbusse neuerer Bauart ein, ausgestattet mit einem Dieselmotor und Abgasnachbehandlungssystem. Die Abmessungen



**Bild 23:** Doppelgelenker Van Hool AGG 300 am Hauptbahnhof Oberhausen (REGIONALVERKEHR)



**Bild 24:** Van Hool AGG 300 der TEC im Wendehammer an der Universitätsklinik Lüttich



Bild 25: Studie des Van Hool 300 AGG für die GV Utrecht (VAN HOOL)

dieses Doppelgelenkers betragen in der Länge 24,79 m und in der Breite 2,55 m. Eine Option auf weitere 12 Fahrzeuge ist kürzlich bestätigt worden und befindet sich nun in der Ablieferung. Nach einem Prototypen für Lüttich ist dies die erste Auftragsbestellung von Doppelgelenk-Fahrzeugen für Van Hool (**Bild 25**).

Übrigens: Konventionelle Hochflur-Doppelgelenker werden seit vielen Jahren auch in Brasilien (Curitiba und São Paulo; Metrobus von Volvo do Brazil) und Frankreich (Bordeaux; Mégabus, damals Renault V.I.) im Linienverkehr eingesetzt. Nicht zu vergessen ist auch der doppelgelenkige SGG-Hochflur-Prototyp von MAN, der seinerzeit im Fahrgastprobetrieb u. a. in München und Wolfsburg eingesetzt wurde.

Auch in Deutschland zeigten und zeigen zahlreiche Verkehrsbetriebe, z. B. in Aachen, Baden-Baden, Berlin, Bremerhaven, Celle, Dresden, Hamburg, Kiel, Lübeck, Oberhausen, Wiesbaden etc. Interesse an dem Einsatz eines vierachsigen Buszuges. Sie sehen aber in einem Doppelgelenker in erster Linie ein reines Kapazitätsfahrzeug, um durch den Übergang auf ein größeres Transportgefäß Kosten für das Fahrpersonal zu senken. Wünschenswerte Investitionen in Fahrweg und Haltestelleninfrastruktur zum Aufbau eines attraktiven Busverkehrssystems finden bei diesen Überlegungen noch keine Beachtung.



Bild 26: Omnibus-Anhängierzug mit zusätzlichem Fahrradtransportanhänger in der Schweiz. Die Zugerland Verkehrsbetriebe AG setzen dieses 28 m lange Gespann auf der Linie 1 nach Oberägi ein (REGIO TRANS 2001)

Mit dem Scania/Hess-Omnibuszug wurde ein weiterer Großraumzug im Mai und Juni 2000 auf der zentralen ÖPNV-Achse in Oberhausen sowie auf der Linie 90 getestet. Vergleichbare Gespanne kommen in der Schweiz im Fahrgastbetrieb zum Beispiel bei den TL (Transports Publics de la Région Lausannoise), den ZVB (Zugerland Verkehrsbetriebe) sowie den VBL (Verkehrsbetriebe der Stadt Luzern) zum Einsatz (**Bild 26**). Die beiden letztgenannten Betriebe verfügen dabei über modernste Niederflur-Anhänger der Beschaffungsjahre 1996 und 1998. In Oberhausen ist ein Omnibus-Anhängierzug (von insgesamt 20) der Verkehrsbetriebe der estnischen Hauptstadt Tallinn zum Einsatz gekommen (**Bild 27**):



Bild 27: Omnibuszug, ausgeliehen aus dem estnischen Tallinn, im Fahrgastprobetrieb in Oberhausen

- Bei dem *Scania/Hess-Omnibuszug* ist ein Solobus mit Fahrgestell der Firma Scania eingesetzt worden; das Anhängerchassis stammt von Marti&Lanz. Beide Fahrgestelle haben einen Hess-Leichtmetallaufbau erhalten. Das Gespann kommt auf eine Fahrzeuglänge von 23,23 m. Beide Achsen des Niederflur-Personenanhängers werden angelenkt, wodurch eine hohe Spurtreue des gesamten Gespanns erreicht wird. Die Fahrer lobten das gute Spurverhalten mit nur geringen Querbewegungen sowie die Kurvenlaufeigenschaften.

Auch außerhalb der Oberhausener ÖPNV-Trasse wurde das Anhängerzugspann auf der Omnibuslinie 90 Probe gefahren. In diesem Fall wurden jedoch keine Fahrgäste mitgenommen. Bei der Zuglänge von über 23 m erwiesen sich die vorhandenen Bordsteinhaltestellen als zu kurz. Ein künftiger Einsatz von Großraumfahrzeugen erfordert eine entsprechende streckenbezogene Infrastruktur.



Welche Bedeutung dem Anhängerbetrieb beizumessen ist, zeigt eine Bedarfsanalyse des VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen): Demnach besteht in 80 Verkehrsunternehmen (bei insgesamt 337 VDV-Mitgliedsunternehmen) Interesse an einer Wiedereinführung des Betriebs von Personenanhängern an Kraftomnibussen (PÜTZ 2001).

## **2.10 Buszüge im ÖPNV – aktueller Großversuch in NRW**

Der zuvor beschriebene Probeinsatz fand in Oberhausen bei der STOAG im Wesentlichen auf der unabhängigen ÖPNV-Trasse statt. In einem nächsten Schritt soll die Eignung im Linienbetrieb und im allgemeinen Straßenverkehr überprüft werden. Hierzu bedarf es zunächst verbindlicher Rechtsgrundlagen.

Zwar erfolgten Beratungen zum Thema einer bundesweiten Zulassung von Omnibussen mit Sonderlänge in den Bund-Länder-Fachausschüssen für „Stadtbahnen und andere spurgeführte Ortsverkehrssysteme“ (LSO), für „Technisches Kraftfahrwesen“ (BLFA-TK) sowie mit dem BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen), jedoch sind alle bisherigen Anstrengungen auf der bundesweiten Ebene ohne greifbares Ergebnis geblieben. Am aussichtsreichsten erschien es deshalb, auf Länderebene eine Ausnahmegenehmigung über die jeweiligen Straßenverkehrsbehörden in enger Absprache mit der Obersten Landesbehörde zu erwirken. Anzumerken ist, dass auf EU-Ebene keine einschränkende Höchstlänge für Doppelgelenkfahrzeuge definiert ist.

Da die zuständige Landesbehörde bereits in Oberhausen erste Erkenntnisse sammeln konnte, wurde ein Großversuch mit Buszügen in Nordrhein-Westfalen ins Auge gefasst. Als Initiatoren gegenüber der Landesbehörde fungierten hierbei die STOAG, Van Hool sowie der Autor, stellvertretend für die Bergische Universität Wuppertal. In Absprache mit dem Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung des Landes Nordrhein-Westfalen (MVEL) wurde eine auf fünf Jahre befristete Ausnahmegenehmigung für Buszüge in Aussicht gestellt.

Als Fahrzeuge werden Doppelgelenker, Bauart Van Hool in der Ausführung Utrecht, und teilniederflurige Solobusse mit Personenanhänger, Bauart Scania Omnilink/Hess, in Betracht gezogen. Der Einsatz wird sich auf diese verfügbaren Omnibuszüge beschränken, da alle anderen Hersteller erst einen Prototypen bauen müssten. Ausgehend von dieser Initiative werden die ASEAG, Aachen, und die STOAG, Oberhausen, einen

Doppelgelenker im allgemeinen Straßenverkehr erproben. Der Autor begleitete auch Planungseinsatzstudien in Dresden (Dresdner Verkehrsbetriebe AG) und Hamburg (Hamburger Hochbahn). In Brandenburg, Lehnin, wird seit April 2003 ein Scania Bus/Hess-Anhängergespann getestet. Darüber hinaus ist in Wolfsburg ein Anhängergespann ausgeschrieben worden.

Der Buszug wird zum jetzigen Zeitpunkt als Kapazitätsfahrzeug mit hohem Personalwirkungsgrad verstanden, da ausnahmslos alle vertretenen Verkehrsunternehmen unter starkem Druck stehen, ihre wirtschaftliche Effizienz zu erhöhen. Da die Personalkosten einen maßgeblichen Faktor bei der Wirtschaftlichkeit eines Verkehrsunternehmens darstellen, sind alle Verkehrsunternehmen daran interessiert, diese über einen erhöhten Personalwirkungsgrad zu verbessern. Der Linienbusverkehr mit Buszügen wird hier als zu prüfende Option gesehen.

## 2.11 Überblick: der heutige internationale Fahrzeugmarkt

Um nun die Vielfalt der vorgestellten unkonventionellen Lösungsansätze zwischen Bustechnologie und Rad/Schiene-Technik der letzten Jahre überblicken zu können, wird entsprechend der Auswertung der technischen Daten über Kurzbeschreibungen und Definitionen eine mittelbare Gruppierung der Fahrzeugtypen in übersichtlicher Form vorgestellt (**Abbildung 2**). Die Bezeichnungen der Fahrzeugtypen orientieren sich hierbei an eingeführten Fachbegriffen. Für eine untere Abgrenzung steht im verkehrsplanerischen Sinne der Linienbusverkehr ohne eigene Betriebsanlagen, für eine obere der Bahnverkehr Rad/Schiene, der innerstädtisch als (U-) Stadtbahn zu verstehen ist.

Hervorzuheben ist, dass im Verlauf der weiteren Arbeit für die Fahrzeugtypen – losgelöst von speziellen Herstellerkonzepten – allgemeine Aussagen getroffen werden können.

Der Überblick über die Fahrzeugtypen moderner Transportsysteme zwischen Bus und Bahn ist vom Autor auf dem Fachkongress „Zukunftsperspektiven und Innovationen im öffentlichen Verkehr“ anlässlich der Jahrestagung der DVWG (Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft) im April 2001 vorgestellt worden und in der DVWG-Schriftenreihe erschienen (DEUTSCH 2001, S. 114-122). Die verwendete Methodik der Gruppierung von Fahrzeugkonzepten über Fahrzeugtypen und Bauarten ist in den siebziger Jahren am ITE (Institut zur Erforschung technologischer Entwicklungslinien) verfeinert und am Beispiel damaliger, neuer urbaner Transportsysteme veröffentlicht worden (WEIGELT 1973).

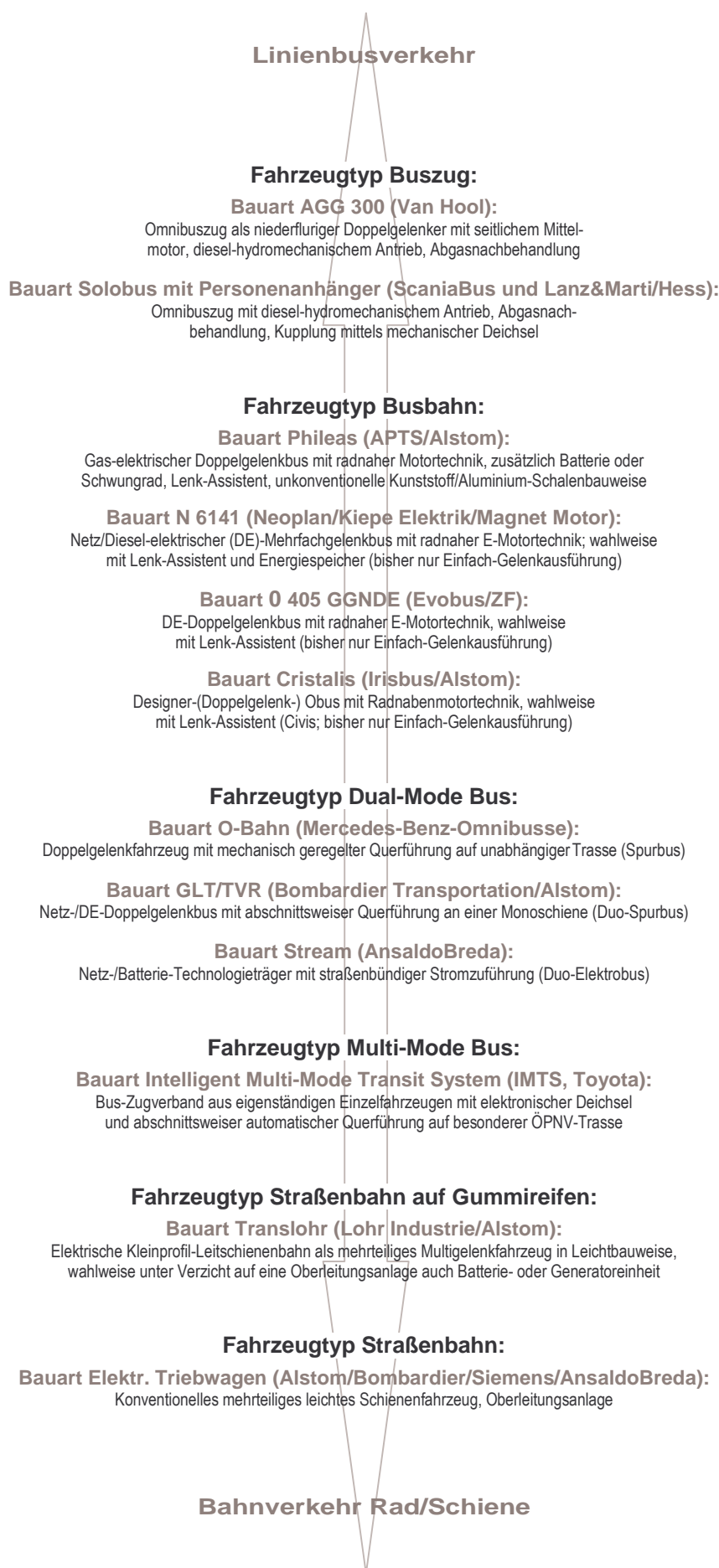


Abbildung 2: Fahrzeugtypen des Herstellerangebotes  
zwischen Bus und Bahn





# 3 Technische Untersuchung der Transportsysteme

## 3.1 Vorgehensweise

Es stellt sich die Frage, welche der sich in Kapitel 2 abzeichnenden Entwicklungslinien bzw. Technologietrends des internationalen Fahrzeugmarktes sich im innerstädtischen Nahverkehr zukünftig behaupten werden. Dazu wird zunächst die Betriebsreife anhand der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit der einzelnen fahrzeug- und fahrwegseitigen Systemkomponenten – dies sind Fahrzeug- und Antriebskonzept, automatische Querführung, Stromzuführung, elektronische Deichsel sowie Fahrwegkonstruktionen – kritisch betrachtet.

Im Vordergrund stehen also „harte“ Faktoren, die bei aller Komplexität einer Systemauswahl Ausschlusskriterien gegen – möglicherweise maßgebliche – Komponenten der Fahrzeugkonzepte liefern. Darüber hinaus werden auch Fragen hinsichtlich einer baldigen rechtlichen Zulassung untersucht.

Ausführlich sind die Untersuchungsergebnisse in den Anhängen A - E dargestellt, so dass bezogen auf den jeweiligen Fahrzeugtyp hier nur die wichtigsten Ergebnisse vorgestellt werden.

Anzumerken ist, dass in den Anhängen eine gezielte Untersuchung einzelner fahrzeug- und fahrwegseitiger Systemkomponenten vorgenommen wird und nicht die eines Fahrzeugtyps. Damit wird berücksichtigt, dass die Systemkomponenten grundsätzlich frei wählbar sind. Zwar stellt die Fahrzeugtyp-Klassifizierung (**Abbildung 2**) aus Sicht der Hersteller jeweils marktreife Kombinationen der Systemkomponenten in Bezug auf Umsetzungsfähigkeit und Stand der Entwicklung dar, die Auswahl bleibt aber letztendlich den Planungsbeteiligten und Bestellern vorbehalten.

## 3.2 Fahrzeug- und Antriebskonzept (Anhang A)

- **Typübergreifend**

Bei einem diesel-hydrmechanischen Antriebsaggregat ist bei einem niederflurigen, vierachsigen Fahrzeug nur ein Antrieb der zweiten Achse technisch umsetzbar. Bei der radnahen bzw. der Radnabenmotortechnik eines (diesel-) elektrischen Antriebs kann im Gegensatz dazu die Vortriebskraft traktionsgünstig auf mindestens vier Räder bzw. zwei Achsen verteilt werden. Allerdings bedingen mehrere angetriebene Achsen auch eine Knickschutzregelung der Gelenke.

- **Fahrzeugtyp Buszug**

Der Dieselmotor als bewährtes Großserienprodukt ist mit Abstand die wirtschaftlichste Antriebswahl und – betrachtet man den Energiepfad unter Einbeziehung eines *Abgasnachbehandlungssystems* – auch zunehmend ökologisch sauber (Bauarten Van Hool, Scania/Hess). Der Fahrzeugtyp Buszug ist auch für den Betrieb unter Fahrdraht mit einem Drehstrom-Asynchronmotor und Gelenkwelle geeignet.

- **Fahrzeugtyp Busbahn**

Der diesel-elektrische Antrieb mit mindestens zwei angetriebenen Achsen ist wegen guter Traktionseigenschaften – vorrangig als *Hybridantrieb* mit Batterie, Superkondensator oder Schwungrad – weiter zu beobachten. Ohne *Energiemanagement* ist beim diesel-elektrischen Antrieb mit einem deutlichen Kraftstoffmeherverbrauch zu rechnen. Aus technischer Sicht ist nach wie vor eine Oberleitung empfehlenswert, sofern ein elektrischer Betrieb beabsichtigt ist.

- **Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen**

Aus Gründen der Geräuschminderung werden auch bei der Bauart Translohr inzwischen bewährte *Drehstrom-Asynchronmotoren*, vormals zwei Synchronmotoren mit geringerer Masse und Bauraumvorteilen, eingesetzt. Aufgrund der Bauhöhe der Motoranlage und des Wunsches, ein durchgängig niederfluriges Fahrzeug anbieten zu wollen, können die Antriebe nur an den jeweiligen, hochflurigen Fahrzeugenden positioniert werden.

## 3.3 Querführung (Anhang B)

- **Fahrzeugtyp Buszug**

Bei Buszügen mit einer Länge unter 25 m (Bauarten Van Hool und Scania/Hess) stehen bewährte Techniken zur Verfügung. Vor allem die *Mehrachslenkung*, die eine hohe Spurtreue ermöglicht, und die *Verwendung von Formsteinen* im Haltestellenbereich (Selbstlenkungseffekt an

Sonderborden zur Reduzierung der Spaltbreite) sind hier zu nennen. Sie bieten im Zusammenspiel mit einer Fahrerschulung und einer sorgfältig geplanten Trassierung die Möglichkeit eines Straßenbahn-ähnlichen Betriebes – sofern ausreichend Verkehrsfläche zur Verfügung steht.

- **Fahrzeugtyp Busbahn**

Der Einsatz einer *berührungsfreien Spurregelung* (Lenk-Assistenz-System) führt unabhängig von dem gewählten Leitsystem zu keiner bedeutenden Verkehrsflächeneinsparung, weil die Trasse zwecks Erhaltung der betrieblichen Flexibilität auch von handgelenkten Fahrzeugen benutzbar sein sollte (kein artreiner Betrieb). Darüber hinaus werden systemimmanente Sicherheitsfragen bereits ab mittleren Geschwindigkeiten aufgeworfen, da als Rückfallebene der Fahrer in der Verantwortung steht. Als Einsatzgebiete können trotzdem Zonen niedriger Geschwindigkeit, also Haltestellenbereiche, Fußgängerzonen und Rangierfahrten auf Betriebshöfen, ins Auge gefasst werden (Bauarten Civis, Phileas, Evo-Bus, Neoplan).

- **Fahrzeugtyp Dual-Mode Bus**

Die *mechanische Spurführung* an einer Monoschiene (beidseitiger Spurkanz, Bauart GLT/TVR) weist konzeptionelle Schwächen auf: zum einen wegen der Überwachung des Systemwechsels Handlenkung/Spurführung, zum anderen wegen der Formgestalt der Führungsrollen (hohe Geräuschemissionen, Verschleiß, geringe Entgleisungssicherheit).

Die bewährte *mechanische Spurregelung* (Bauart O-Bahn) steht für den speziellen Fall eines unabhängigen Sonderschnellfahrwegs zur Verfügung. Eine breit angelegte innerstädtische Anwendung scheidet allerdings aufgrund der aufragenden Leitkanten des Spurkanals, die nur kurze Unterbrechungen in der Geraden zulassen, aus. Dadurch können andere Verkehrsteilnehmer die Trasse nur stark eingeschränkt queren.

- **Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen**

Bei einer gummibereiften Straßenbahn (Bauart Translohr) gewährleistet das kunststoffbandagierte *V-förmige Führungsrollenpaar* ein formschlüssiges Führen der Fahrwerke an der Monoschiene. Bei einem Haftreibungsverlust wird durch mechanische Anschläge am Lenkrahmen ein unkontrolliertes Quergleiten der Radpaare verhindert.

Aufgrund der mechanischen Spurführung können lange Züge wie bei der Straßenbahn gebildet werden. Vorteilhaft ist, dass durch die Lenkbarkeit aller Achsen bzw. Radpaare ein verschleißarmes Abrollen ermöglicht ist und im Fahrbetrieb keine verschleißintensiven Zwängungen wie bei Straßenbahnen in engen Gleisradien entstehen können. Die Gummireifen sorgen für geringe Geräusche und Erschütterungen.

### 3.4 Stromzuführung (Anhang C)

- **Typübergreifend**

Bei einem elektrischen Antrieb ist die externe Stromversorgung mittels Fahrdraht auch weiterhin die mit Abstand effizienteste Technik. *Straßenbündige Stromzuführungssysteme* sind insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen nicht empfehlenswert. Sie sind weder dauerbetriebsmäßig zuverlässig noch sicher nachgewiesen (u. a. Bauart Stream).

### 3.5 Elektronische Deichsel (Anhang D)

- **Fahrzeugtyp Multi-Mode Bus**

Die elektronische Deichsel setzt sich aus den beiden Komponenten *Abstandsregelung* und *Spurregelung* zusammen:

Zum einen fehlt bei der *berührungsfreien Abstandsregelung* bisher der Nachweis, dass beim Versagen der elektronischen Deichsel, dem Verlust des Kraftschlusses oder extremen Störgrößen alle Einzelfahrzeuge eines Bus-Zugverbandes sicher zum Stehen gebracht werden können.

Zum anderen wirft darüber hinaus die *berührungsfreie Spurregelung* bereits bei mittleren Geschwindigkeiten systemimmanente Sicherheitsfragen auf, weshalb auf eine mechanische Querführung oder Notführungseinrichtungen zurückgegriffen werden sollte. Die elektronische Deichsel ist noch nicht betriebsreif und zulassungsfähig.

### 3.6 Fahrwegkonstruktionen (Anhang E)

- **Typübergreifend**

Mit der Beton-Gleitschalungstechnik oder einem Splitt-Mastix-Asphalt mit polymermodifiziertem Bitumen stehen geeignete, verformungsresistente Fahrwegkonstruktionen für die Transportsysteme zwischen Bus und Bahn zur Verfügung.

*Bereiche mit häufigem Standverkehr* (vor allem Haltestellenbereiche) sollten bei allen Transportsystemen entsprechend den erhöhten statischen und dynamischen Belastungen vorteilhaft mit einer Beton-Konstruktion erstellt werden, um dauerhaft Quer- und Längsunebenheiten zu vermeiden.

Bei *Bereichen mit fließendem Verkehr* hängt die Eignung vorhandener Fahrwegkonstruktionen in erster Linie davon ab, wie häufig Erneuerungsmaßnahmen in Abhängigkeit des angestrebten Beförderungskomforts durchgeführt werden. Bei den spurfreien Transportsystemen (Buszug und Busbahn) kann bei Neuanlagen auch auf eine Asphaltstraße mit Sonderbindemittel zurückgegriffen werden.

- **Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen**

Aus Komfortgründen wird generell eine neue Ebene und verformungsresistente Fahrwegkonstruktion über die gesamte Länge einzubauen sein. Es hat sich gezeigt, dass sowohl an die Ebenheit des Fahrwegs als auch an die horizontale Lagegenauigkeit der Monoschiene allerhöchste Anforderungen zu stellen sind.

### 3.7 Marktreife Fahrzeugtypen

Aufgrund der technischen Untersuchung lässt sich die Anzahl der Fahrzeugtypen auf marktreife Varianten reduzieren. Zum besseren Verständnis sind in der **Abbildung 3** nochmals alle Fahrzeugtypen der unkonventionellen Transportsysteme zwischen Bus und Bahn im Überblick aufgeführt. Inhaltlich entspricht sie der **Abbildung 2**.

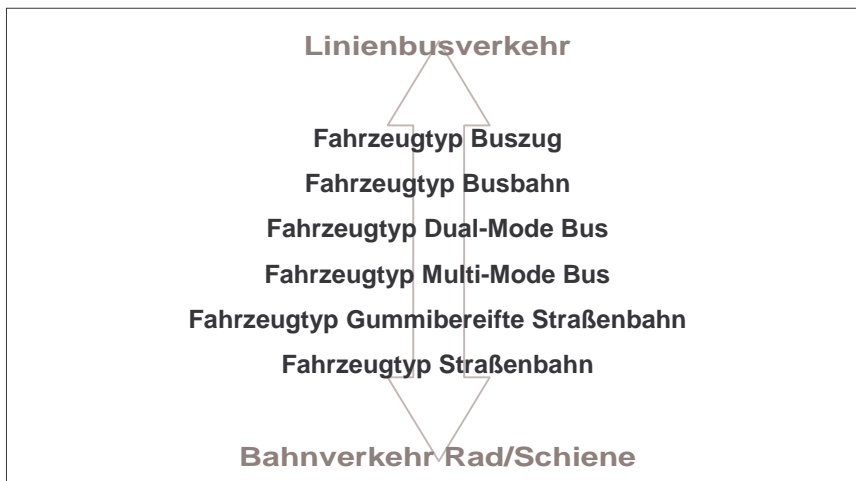


Abbildung 3: Die Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn im Überblick

Die *Gruppe der Dual-Mode Busse* findet als Konsequenz der technischen Untersuchung und im Hinblick auf diverse problematische Betriebserprobungen (entsprechende Technologieträger waren/sind z. B. in Arnheim, Essen, Esslingen, Fürth, München, Rastatt, gegenwärtig außerdem in Nancy und Caen im Einsatz) keine weitere Berücksichtigung bei der Suche nach einem innerstädtischen konsensfähigen Fahrzeugkonzept. Es hat sich mittlerweile bestätigt, dass zwei Antriebe und zwei Querführungsmodi deutlich schwerer, teurer und störungsanfälliger sind als jeweils nur einer (DEUTSCH 2002, S. 56). Zwar mögen Anwendungen bei Sonderfällen in Betracht gezogen werden, zu groß sind jedoch teilweise zulassungsrechtliche, vor allem aber technische und wirtschaftliche Hemmnisse der maßgeblichen Systemkomponenten, als dass sie sich in der Zukunft im innerstädtischen Nahverkehr auf breiter Front durchsetzen könnten.

Neben den festgestellten technischen Hindernissen zeigen die bisherigen Anwendungsbeispiele darüber hinaus, dass mit verkehrsplanerischem Geschick stets auf konventionelle Verkehrsmittel zurückgegriffen werden kann, die die Verkehrsaufgabe in bewährter Weise bei günstigeren Kosten zu lösen vermögen und damit eine aufwändige Dual-Mode-Technik entbehrlich machen. Auch konnte bei den bisherigen Dual-Mode-Einsatzplanungen festgestellt werden, dass die hohe betriebliche Flexibilität auf der verkehrspolitischen Ebene eine Reihe von verkehrslenkenden MIV-Maßnahmen sowie eine dauerhafte Neuordnung der Verkehrsflächenaufteilung untergräbt (HASS-KLAU et al 2000/b, S. 36).

Innerhalb der *Gruppe der Multi-Mode Busse* sind vor einer ersten Anwendung noch umfassende Erprobungsarbeiten zu leisten und zulassungsrechtliche Fragen zu klären. Sie wird ebenfalls wie die Gruppe der Dual-Mode Busse bei den weiteren Untersuchungen nicht mehr berücksichtigt.

Damit verbleiben die in **Abbildung 4** dargestellten marktreifen Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn in der weiteren Betrachtung.

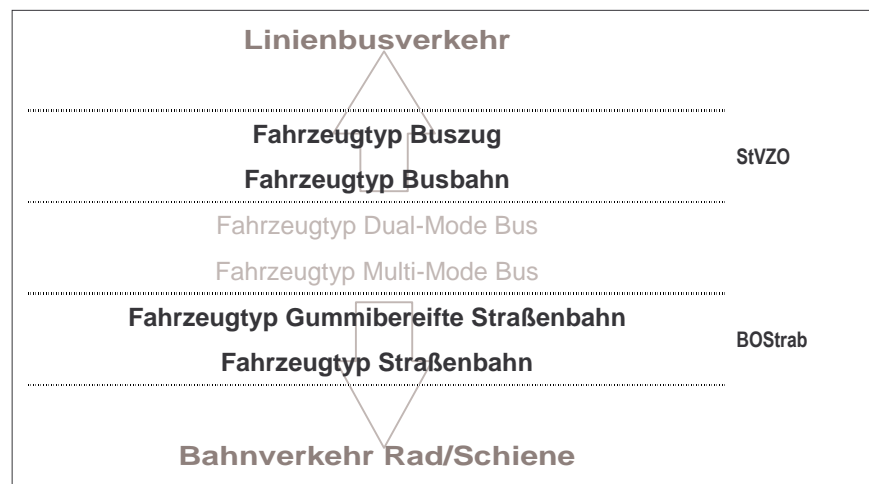


Abbildung 4: Marktreife Fahrzeugtypen entsprechend den Ergebnissen der technischen Untersuchung

### 3.8 Perspektive der Fahrzeugtypen

Ein wesentliches Ergebnis zahlreicher, vom VDV initiiertes oder im Rahmen von RUBIS organisierter Expertenrunden ist, dass sich die Hersteller bei der Gestaltung einzelner Systemkomponenten (z. B. einer berührungslosen Spurregelung) zumindest mittelfristig sehr wohl an den gültigen gesetzlichen Vorschriften zu orientieren haben:

- bei spurfreien Fahrzeugen an der StVZO,
- bei spurgebundenen Fahrzeugen an der BOStrab einschließlich nachgeordnetem Regelwerk.

Neue Zulassungsstrukturen, beispielsweise über eine BOBusbahn oder aufgrund unabhängiger Ingenieurgutachten – wie dies in Frankreich der Fall ist – müssen für den hiesigen Geltungsraum als äußerst ungewiss eingestuft werden. Zur Ermittlung verbindlicher Zulassungsvorschriften ist zwischenzeitlich angeregt worden, dass die Industrie in Kooperation mit VDV-Mitgliedsunternehmen zunächst Pilotprojekte starten solle, ähnlich wie dies in den Niederlanden durchgeführt wird, so dass dann anhand dieser konkreten Projekte über ausreichende, zu ändernde oder neue Vorschriften befunden werden kann. Derzeit ist aber nach wie vor eine Unterteilung in eine Vorschriftenkategorie nach StVZO sowie BOStrab – wie dies auch in **Abbildung 4** wiedergegeben wird – gegeben.

In der *Vorschriftenkategorie nach StVZO* sind Aufgabenträger und Betreiber aufgrund der technischen Untersuchung gut beraten, offenen Auges alle Möglichkeiten einer Verwendung *herkömmlicher* Bustechnologie zu prüfen, die sich mit Großraumfahrzeugen auch für die Abwicklung eines hochwertigen Linienverkehrs mit hohem Fahrgastaufkommen anbietet, bevor eine technisch anspruchsvolle Busbahn in Erwägung gezogen wird. Der Fahrzeugtyp Buszug kann ohne Abstriche die gleiche Transportaufgabe erfüllen wie der Fahrzeugtyp Busbahn. Ein linienbezogener, konsequenter Systemaufbau mit Großraumfahrzeugen stellt eine „kaufmännisch“ geprägte Lösung mit hoher Effizienz dar, die Busbahn repräsentiert eine technisch anspruchsvolle Lösung mit innovativem Upgrade und imagefördernden Maßnahmen – zum Beispiel einem aktiven Fahrer-Assistenz-System im Bereich einer Haltestellenanlage und Energiemanagement bei einem diesel-elektrischen Hybridantrieb.

In der *Vorschriftenkategorie nach BOStrab* sind aus sicherheitstechnischen und zulassungsrechtlichen Gründen die eingesetzten Fahrzeuge im Stadtverkehr mechanisch quergeführt. Der Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen ist hierbei ein ernstzunehmender Straßenbahnkonkurrent. Vorteilhaft gegenüber der klassischen Straßenbahn ist hier durch die Verwendung von Bus- und Nutzfahrzeugtechnologie das geringere Fahrzeuggewicht, welches erwarten lässt, dass Kosten der Beschaffung, des Energieaufwands und der Instandhaltung der Fahrweganlagen gesenkt werden können, und dies bei einem körperschallfreien Fahrbetrieb.



### 3.9 Technische Daten der Fahrzeugtypen



Bild 28: Fahrzeugtyp Buszug,  
Beispiel: Bauart Van Hool AGG 300



Bild 29: Fahrzeugtyp Busbahn,  
Beispiel: Bauart Phileas



Bild 30: Fahrzeugtyp Straßenbahn auf  
Gummireifen, Beispiel: Bauart Translohr



Bild 31: Fahrzeugtyp Straßenbahn,  
Beispiel: Bauart Citadis

In der nachfolgenden tabellarischen Übersicht (**Tabelle 1**) werden die marktreifen Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn über technische Vergleichsparameter einander gegenübergestellt. Siehe hierzu auch die beispielhaften Fahrzeugtypen (**Bild 28-31**).

Bei der technischen Gegenüberstellung werden *nicht* einzelne Herstellerkonzepte der Bauarten verglichen. Vielmehr handelt es sich bei den Daten um typische Kennwerte, die aufgrund technischer und wirtschaftlicher Hemmnisse selbst bei einem Wechsel des Herstellers in einer ähnlichen Größenordnung zu erwarten wären. Freie Variablen bei der Fahrzeugkonzeption, die vom Betreiber festgelegt werden (Sitzplatzanzahl, Fahrzeugbreite, Antriebsart, Ausstattungselemente der Fahrgastbedienung etc.), sind nach bestem Wissen einheitlich angeglichen. Anzumerken ist, dass innerhalb des Fahrzeugtyps Busbahn die Bauart-Varianten zweckmäßig zu unterteilen sind in

- evolutionäre Varianten (Entwicklung basierend auf bereits produzierten Kleinserien) und
- individuelle Varianten (umfassende Neuentwicklung).

Als Kontrast der technischen Vergleichsparameter der Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn sind auch die technischen Daten einer beispielhaften, teilniederflurigen „Low-Cost-Straßenbahn“ aufgeführt. Die Low-Cost-Straßenbahn definiert sich insbesondere in dem Bemühen einer Kostenreduzierung durch Leichtbau (adäquate Dimensionen und Materialien), Modularisierung der Fahrzeugkonstruktion, Standardisierung der Module, industrielle Serienfertigung, kostengünstige Instandhaltung, Wartungsfreundlichkeit, reduzierte Lagerhaltungskosten, niedrigen Energieverbrauch, angemessenes Komfortniveau, engen Informationsaustausch Hersteller/Betreiber etc. Einen vollständigen Überblick über technische Daten u. a. im Bereich der Niederflurstraßenbahnen gibt HONDIUS (2002/c) jährlich in der Fachzeitschrift *Stadtverkehr*. Die Datenzusammenstellung von HONDIUS erlaubt den Vergleich auch mit anderen, durchgängig niederflurigen Straßenbahnbauarten.

Darüber hinaus sind die entsprechenden Fahrzeugkonzeptionen schematisch in der **Abbildung 5** dargestellt. Die Typenvielfalt bei den Schienenbahnen, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird, hat AHLBRECHT u. a. für den Bereich von Niederflurstraßenbahnen mittels schematischer Darstellungen in dem Fachbuch *Stadtbahnen* verdeutlichen können (VDV 2000, S. 264 - 265).



Fahrzeugtyp	Busbahn				
	Buszug <sup>2</sup>	evolutionäres Konzept <sup>3</sup>	individuelles Konzept <sup>4</sup>	Straßenbahn auf Gummireifen <sup>3</sup>	Straßenbahn <sup>4</sup>
<b>Zulassung</b>					
Zulassung	StVZO Straßenverkehrsbehörde	StVZO Straßenverkehrsbehörde	BOStrab Technische Aufsichtsbehörde	BOStrab Technische Aufsichtsbehörde	
<b>Abmessungen</b>					
Länge [m]	25,00	24,50	32,00 (... 39,00)	30,00 (... 40,00)	
Breite [m]	2,55	2,55	2,20...2,40	2,40 <sup>7</sup>	
Außenhöhe [m]	3,00	3,10	2,90	3,45	
<b>Fahrzeugkonzeption</b>					
Querführung	Selbstlenkungseffekt an Haltestellen über Formstein	berührungsfreie Spurregelung an Haltestellen (Fahrer-Assistenz-System)	mechanische Spurführung an einer Monoschiene	Rad/Schiene-Technik	
Lenkung	kraftschlüssig, fahrgelenkt	kraftschlüssig, fahrgelenkt über Leitsignalträger	absolut formschlüssig (Umschluss über V-förmiges Rollenpaar)	kraftschlüssig, fahrgelenkt über Spurkranz	
Achsfolge	vierachsig 1' A 1' 1'	vierachsig 1' A 1' A	vierteilig A' 1' 1' A' (A' 1' 1' 1' A')	dreiteilig Bo' 2 Bo' (Bo' 2 2 Bo')	
<b>Niederflurigkeit</b>					
Fußbodenhöhe Wagenboden/Podest [mm]	350/550	340/ -	320/ -	350/600	
NF-Anteil Fahrgastzelle <sup>8</sup> [%]	85	90	100	65	
Einstiegs Höhe [mm]	330 <sup>9</sup>	320 <sup>9</sup>	250	300	
Kneeling [mm]	-70	-70	-	-	
<b>Fahrzeugkapazität</b>					
Zul. Gesamtkapazität	185	160...180	200	210	
Anhaltswert Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	45,5	45,0	42,5	52,5	
Stehplätze [4 Pers./m <sup>2</sup> ]	80	70...100	110	130	
Sitze (Sitzanordnung)	60 (2+2)	30...60 (2+2)	45 (2+1)	45 (2+2)	
<b>Leistungsfähigkeit</b>					
Leistungsfähigkeit [Pers./h/Spur]	< 2800	< 2800	> 3000 <sup>10</sup>	> 3000 <sup>10</sup>	
Kupplungsfähigkeit/Modularität	nein/ -	nein/ -	ja/Einbau Ergänzungsmodul	ja/Einbau Ergänzungsmodule	
<b>Trassierungsparameter</b>					
Fahrwegbreite <sup>11</sup> (Gerade)	6.60...7.00	6.60...7.00	5,30	5,50	
Fahrspurbreite (bei r <sub>min</sub> )	6,60	6,70	4,30	3,10	
Innenradius Fahrspur	5,40	5,30	7,70	8,80	
Außenradius Fahrspur	12,00	12,00	12,00	20,00	
Max. Längsneigung [%]	8,5	13	13	8,5	
Richtwert Längsneigung <sup>12</sup> [%]	10	10	10	4	
<b>Fahrzeuggewicht</b>					
Leergewicht [t]	21,0	~24,0	~24,0 (21,0) <sup>13</sup>	23,5	35,0
Flächengewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	330	~380	~380 (340) <sup>13</sup>	340	530
<b>Antrieb</b>					
Leistung <sup>14</sup> [kW]	1x265 DHM	4x80 DE	6x50 DES	2x200 E	4x140 E
Leistungszahl [kW/t] <sup>15</sup>	13	14...16	14...16	17	15
Optionale Antriebsarten	Ē	DE, DĒT, DĒS; (FC)	DE; DES; (FC)	-	-
<b>Fahrzeugkosten</b>					
Nutzungsdauer	15	> 20	30	30	
Fahrzeugkosten [EUR]	400.000	>1.000.000	~1.200.000	1.500.000	1.600.000
Flächenkosten [EUR/m <sup>2</sup> ] <sup>16</sup>	6200	>16.000	~19.000	21.000	22.200

Tabelle 1: Technische Vergleichsparameter der Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn im Überblick

<sup>2</sup> in Anlehnung an AGG 300, Bauart Van Hool

<sup>3</sup> in Anlehnung an STE 4, Bauart Lohr Industrie

<sup>4</sup> in Anlehnung an Citadis 301, Bauart Alstom

<sup>5</sup> in Anlehnung an bisher veröffentlichte Daten der Hersteller Evobus und Irisbus

<sup>6</sup> in Anlehnung an bisher veröffentlichte Daten der Hersteller Neoplan und APTS

<sup>7</sup> nach VDV-Empfehlungen für eine leichte und aufwandsarme Niederflur-Straßenbahn

<sup>8</sup> Radkästen sind bei der Niederflurigkeit [%] berücksichtigt

<sup>9</sup> mit Kneeling: 250 mm

<sup>10</sup> Bildung längerer Transporteinheiten möglich (über Kupplung oder Einbaumodul)

<sup>11</sup> Gegenrichtungsfahrweg ohne Oberleitungsmasten

<sup>12</sup> nach BOStrab bzw. RAS-L

<sup>13</sup> Kunststoff/Aluminium-Schalbauweise

<sup>14</sup> DHM = diesel-hydrmechanischer Antrieb mit CRT-Filter; E (Ē) = einpoliger Fahrdraht (zweipoliger Fahrdraht); DE = diesel-elektrischer Antrieb; DES = diesel-elektrischer Antrieb mit Energiespeicher; DĒT = diesel-elektrischer Antrieb mit zusätzlicher Obusausstattung mit zweipoligem Fahrdraht; FC = Brennstoffzellenhauptantrieb mit zusätzlichem Energiespeicher. Anm.: Der Dieselmotor kann generell durch Gasturbine ersetzt werden.

<sup>15</sup> Die Leistungszahl ist die Antriebsleistung geteilt durch das Leergewicht.

<sup>16</sup> Die Flächenkosten errechnen sich aus den Fahrzeugkosten dividiert durch die Fahrzeugfläche entsprechend den äußeren Abmessungen.

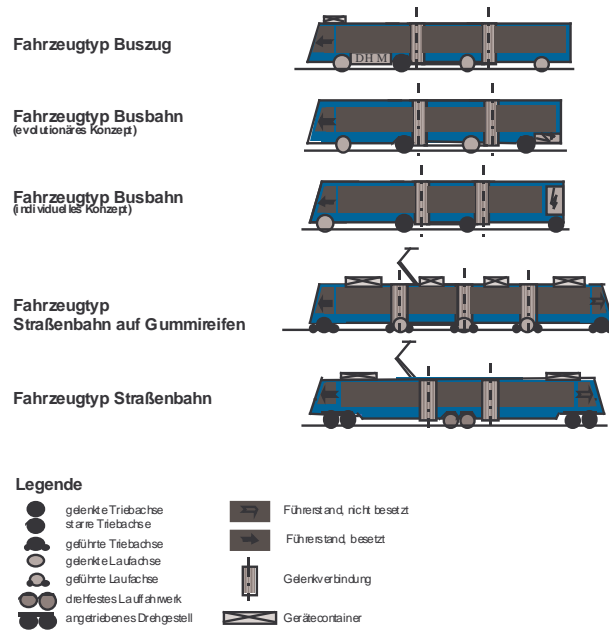


Abbildung 5: Fahrzeugkonzeptionen zwischen Bus und Bahn

# 4 Monographien projektierter und realisierter Transportsysteme

## 4.1 Planerische Vorleistungen

Die technische Untersuchung und die Gegenüberstellung in Kapitel 3 schaffen die Voraussetzung einer überschaubaren Klassifizierung, die sich nur noch auf die *marktreifen Transportsysteme*, also die Fahrzeugtypen Buszug, Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn beschränkt. Da die Betrachtung dieser Fahrzeugtypen sowie deren fahrwegspezifischen Betriebsanlagen bisher ausschließlich eine Aussage über die fahrweg- und fahrzeugtechnischen Lösungsansätze erlaubt, hat eine Beurteilungsmethodik über das Leistungsspektrum der Transportsysteme nun mehrdimensionaler Natur zu sein. Damit wird berücksichtigt, dass neben technischen Kriterien auch örtliche Rahmenbedingungen, die sich in verkehrspolitischen, verkehrlichen, städtebaulichen und betrieblich-technischen Zielsetzungen widerspiegeln können, breitgefächerte Auswirkungen auf eine verkehrsmittelgerechte Einsatzplanung haben können.

Vor einer Veranschaulichung der vielfältigen Anwendungsbereiche der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn soll noch ein kurzer Blick auf den Prozess der Verkehrsplanung geworfen werden. So gehen einer verkehrsmittelgerechten Optimierung folgende Stufen der operativen Verkehrsplanung voraus:

- Zum einen sind die Ziele der Raumordnung, Stadtplanung und Stadtentwicklung sowie des Modal Splits resümiert, zum anderen konnten die Teilverkehrssysteme des städtischen Personenverkehrs auf dieser Grundlage entworfen und hierarchisiert werden.
- Im Lageplan haben Planer nun einen ÖPNV-Trassierungskorridor, der unbehindert vom MIV betrieben werden soll, festgelegt, wobei u. a. verkehrserzeugende Einrichtungen, Verknüpfungspunkte, Siedlungsdichte, Arbeitsplätze, Transportalternativen sowie das Verkehrswegenetz berücksichtigt worden sind.

- Es können erste Studien und Prognosen über das Fahrgastaufkommen des Teilverkehrssystems ÖPNV erfolgen.

Es ist demnach zu betonen, dass zum Zeitpunkt einer verkehrsmittelgerechten Einsatzplanung bereits die Bandbreite der Anforderungen, die an ein mögliches Transportsystem gestellt werden, klar umrissen ist. Es versteht sich von selbst, dass bei der weiteren Einsatzplanung nur Transportsysteme in Betracht kommen können, die in ihrem Leistungsspektrum auch den abgeleiteten Erfordernissen entsprechen.

Im Folgenden soll der Weg von einzelnen Städten vorgestellt und anhand deren Systemimplementierungen das verkehrsplanerische Leistungsspektrum der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn vor Augen geführt werden. Es werden beispielhafte verkehrsplanerische Einsatz- und Entwurfsparameter abgeleitet. Mittels dieser Anhaltswerte soll die Frage beantwortet werden können, ob überhaupt ein Transportsystem auf Basis der Bustechnologie für die Bedienung einer projektierten ÖPNV-Hauptachse geeignet ist.

## 4.2 Auswahl von Anwendungsbeispielen

Die Zahl der projektierten und realisierten *niederflurigen* Transportsysteme zwischen Bus und Bahn, deren Ausführungsplanung bereits abgeschlossen werden konnte bzw. die bereits in Betrieb stehen, ist noch nicht groß. Als Anwendungsbeispiele sind nachfolgend nun jene Verkehrsräume ausgewählt, in denen auf die technisch marktreifen Lösungsansätze zwischen Bus und Bahn zurückgegriffen wird. Bekannt sind

- das Transportsystem mit Buszügen in *Utrecht*,
- die Busbahn-Transportsysteme in *Rouen* und *Eindhoven* sowie
- die gummbereifte Straßenbahn in *Clermont-Ferrand*.

Weiterhin soll zum Vergleich auch das kürzlich eröffnete

- Straßenbahnsystem in *Orléans*

in die Untersuchung mit eingebunden werden. Der dort eingesetzte Fahrzeugtyp orientiert sich an dem Alstom-Projekt STIF (Système de Transport Intermédiaire sur Fer) und repräsentiert damit eine leichte, aufwandsarme Straßenbahn, die auf ein vergleichbares Marktsegment gerichtet ist wie die Straßenbahn auf Gummireifen. Die technischen Vergleichsparameter des Fahrzeugtyps Straßenbahn in der **Tabelle 1** entsprechen weitgehend der Bauart Orléans. In Orléans sind in der Projektierungsphase auch *Tramways sur Pneus* - Varianten angedacht worden.

Die *Dual-Mode-Bus-Systeme* in Nancy und Caen werden nicht weiter untersucht, da sie auf planerischen Überlegungen basieren, die der eingesetzte Fahrzeugtyp aufgrund der in Kapitel 3 festgestellten zulassungsrechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Hemmnisse nur unzureichend erfüllen kann. Ferner ist darauf hinzuweisen, dass CERTU bereits eine Monographie dieser beiden Projekte zusammengestellt hat (1999, S. 130-145).

*Multi-Mode-Bus-Systeme* wurden aufgrund der beschriebenen technischen und rechtlichen Hemmnisse bisher noch nicht realisiert.

### 4.3 Utrecht: Transportsystem mit Buszügen

- **Hintergrund der Transportsystemwahl**

Ab 1968 untersuchten die niederländische Staatsbahn NS und der Utrechter Verkehrsbetrieb GVVU gemeinsam die Möglichkeiten einer S-Bahn-Verbindung zu der im südlichen Außenbezirk neu geplanten Stadt Nieuwegein. Aufgrund der zu erwartenden hohen Kosten einer S-Bahn, teilte die Regierung dem Utrechter Stadtrat 1974 nach zahlreichen Untersuchungen mit, dass sich die weiteren Planungen auf eine Stadtbahn-Lösung konzentrieren sollten. Ursprünglich wurde hierbei eine Durchmesserlinie in Erwägung gezogen, die, aus Nieuwegein kommend, vorbei an dem Hauptbahnhof durch die Innenstadt in den Osten zum Universitätszentrum De Uithof verlängert werden sollte (**Abbildung 6**). Zwar stimmte der Utrechter Gemeinderat dem südlichen Trassenteil Nieuwegein - Hauptbahnhof im Jahre 1977 zu, man beschloss jedoch einschränkend, dass eine oberirdische Stadtbahn durch den mittelalterlichen Stadtkern von Utrecht nach De Uithof nicht akzeptabel sei. Bald stand aber fest, dass die hierbei im Hintergrund in Erwägung gezogene Lösung einer unterirdischen Stadtbahn nicht zu finanzieren war, so dass die östliche Anbindung zum De Uithof zu den Akten gelegt wurde. Die Stadtbahn, SUN genannt, nahm den Betrieb, beschränkt auf den südlichen Streckenast nach Nieuwegein, schließlich im Jahre 1983 auf (**Bild 32**). Nach zwei Verlängerungen im Bereich von Nieuwegein beträgt ihre Streckenlänge heute 21 km. Die Strecke gehörte der Staatsbahn NS, jetzt Rail Infra Beheer (RIB). Der Betrieb wurde der damaligen NS-Tochter West-Nederland, jetzt Connexion, übertragen. Die Stadtbahn befördert zwischen 8 und 10 Mio. Fahrgäste pro Jahr.

Die Diskussion über einen hochwertigen ÖPNV wurde Ende der achtziger Jahre neu entfacht, als die Regierung die im Westen liegenden Bezirke Vleuten-De Meern/Leidsche Rijn sowie den im Osten liegenden Bezirk De Uithof im Rahmen ihres Raumordnungsprogramms als VINEX-Localities (Vierde Ruimteijke Ordening Nota Extra) auswies. Die im

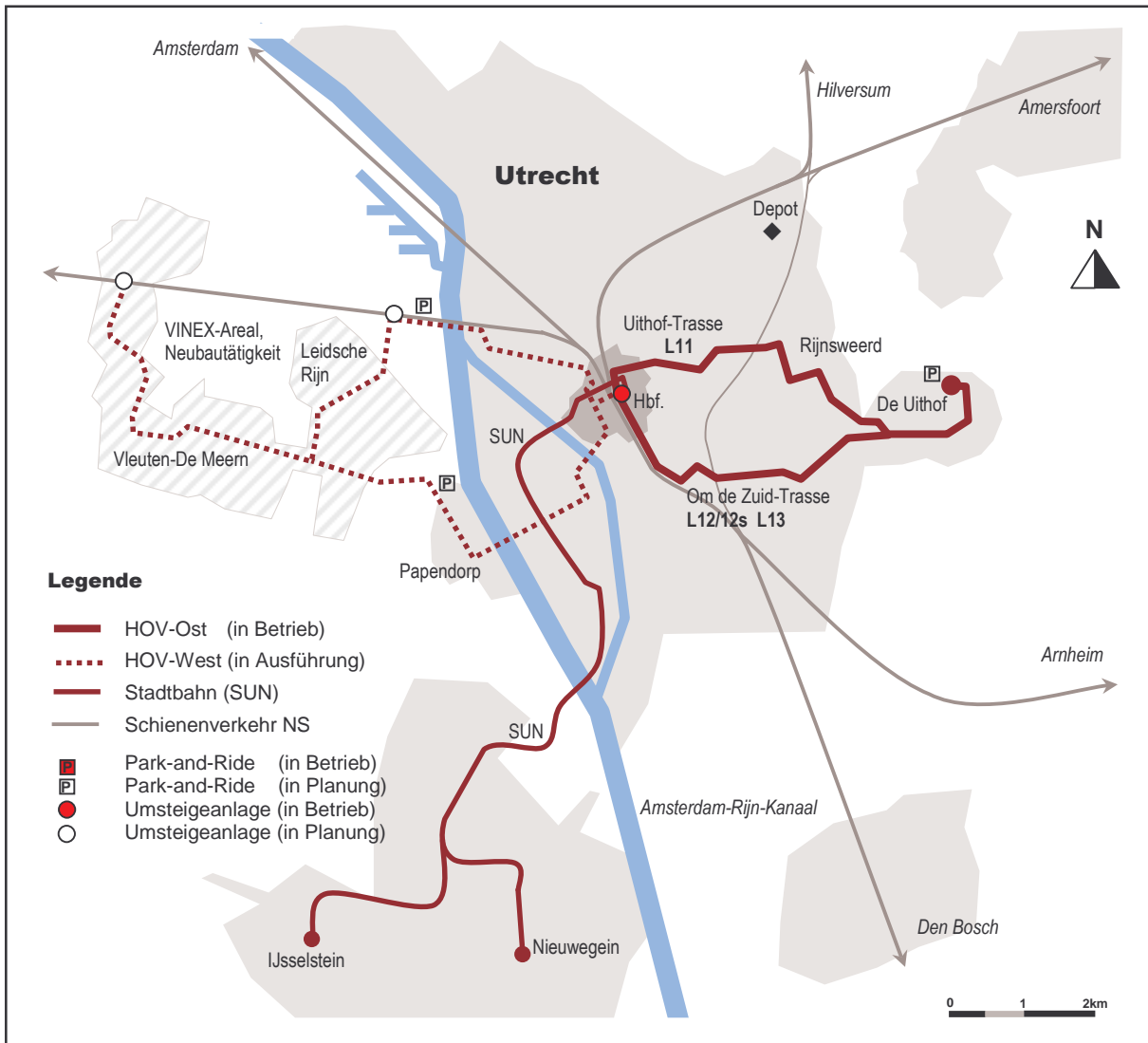


Abbildung 6: Öffentliche Transportsysteme in Utrecht



Bild 32: Stadtbahn SUN am ÖPNV-Terminal, Hauptbahnhof Utrecht.

Westen liegenden Bezirke mit zur Zeit 30.000 Einwohnern werden nun um 20.000 Wohneinheiten ergänzt, so dass mittelfristig eine Siedlung mit 100.000 Einwohnern entstehen wird. Während in den Niederlanden in früheren Jahren bei ähnlichen Siedlungsprojekten eigene, autarke Stadtstrukturen am Reißbrett entworfen und umgesetzt worden sind – bekanntes Beispiel ist hierfür Almere – setzt man nun darauf, die gewachsenen Städte wie Amsterdam, Den Haag, Rotterdam, Eindhoven oder eben Utrecht noch größer zu machen. Bestandteil dieser Siedlungsstrategie ist eine HOV-Anbindung, die die Randbezirke mit der Innenstadt in weniger als 15 min verbinden soll. Für eine derartig hochwertige ÖPNV-Erschließung war die niederländische Regierung bereit, eine Finanzhilfe von 272 Mio. EUR für die Utrechter Ost-West-Achse zur Verfügung zu stellen.

Aufgrund dieser neuen Entwicklung zog 1990 der Gemeinderat den damaligen Beschluss, eine oberirdische ÖPNV-Lösung im Stadtkern von

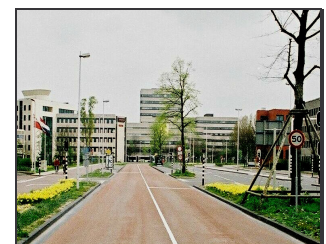
Utrecht nicht zu akzeptieren, zurück, und man konzentrierte sich abermals auf eine Stadtbahnlösung. Der Utrechter Gemeinderat folgte schließlich dem Vorschlag des Stadtrates, so dass 1993 ein Kredit von 6 Mio. EUR für eine erste detaillierte Ausarbeitung einer – diesmal allerdings niederflurigen – Stadtbahn in Ost-West-Richtung bewilligt wurde. Deren Trasse sollte in der Innenstadt auch von Bussen mitbenutzt werden. Auf lange Sicht konnte entsprechend dieser Grundsatzentscheidung mit einem T-förmigen Stadtbahnnetz gerechnet werden, wobei allerdings mit dem Anschluss des vorhandenen südlichen Hochflur-Streckenastes nach Nieuwegein ein Angleich der Haltestellenhöhen sowie ein Austausch der Fahrzeuge erforderlich gewesen wäre. Die Kommunalwahlen vom Mai 1994 ergaben dann aber andere politische Mehrheiten, so dass sich der Stadtrat letztlich für eine grundsätzliche Förderung des ÖPNV aussprach, aber ohne neue Stadtbahn. Die neue Lösung sollte wirtschaftlich und zweckmäßig sein und den Einsatz von Doppelgelenkbussen erlauben.

- **Linienführung, Kosten und Finanzierung**

*Ostwärts* zum De Uithof bewilligte der Gemeinderat 1997 schließlich 68 Mio. EUR für den Bau einer ersten ÖPNV-Eigentrasse für Omnibusse. Sie führt vom Hauptbahnhof durch die mittelalterliche Innenstadt zum Universitätszentrum und entspricht damit im Wesentlichen der bereits in den siebziger Jahren projektierten, aber nicht bewilligten Stadtbahntrasse. Im Jahre 2001 ging diese „Uithof-Strecke“ (u. a. Linie 11 mit 11.400 Fahrgästen pro Tag; Stand 2002) in Betrieb, die Linienlänge beträgt 6,9 km. Ab September 2003 werden auf der Linie 11 im 4,5-min-Takt insgesamt 11 Doppelgelenker eingesetzt, die in der Verkehrsspitze rund 1500 Fahrgäste befördern werden. Die Trassenkosten dürften bei rund 80 Mio. EUR liegen, wobei ein aufwändiges Unterführungsbauwerk einschließlich der Anpassungen der Straßenverkehrsanlagen bereits 20 Mio. EUR in Anspruch genommen hat. Der Trassenneubau und die Umgestaltung des Straßenraumes erforderte im innerstädtischen Kernbereich mittlere Infrastrukturkosten in Höhe von 10-15 Mio. EUR/km. Dem gegenüber stehen Infrastrukturkosten von weniger als 5 Mio. EUR/km im Bereich der nicht angebauten Abschnitte (**Bild 33 u. 34**). Die HOV-Eigentrassen, Steuerungsanlagen etc. werden dem Verkehrsbetrieb von der Stadt bzw. vom Staat zur Verfügung gestellt und dürfen nach Bezahlung der normalen Kraftfahrzeug-Steuer von den HOV-Buszügen befahren werden. Neben dieser nördlichen Trassenvariante zum De Uithof wird auch eine parallele südliche Trassierung (Om de Zuid) unter laufendem Busbetrieb hochwertig ausgebaut. Die „Om de Zuid-Strecke“ wird von den Linien 13 und 12 bzw. 12s bedient; die Bezeichnung 12s steht hierbei für eine Express-Linie. Diese Linienkombination befördert täglich 24.300 Fahrgäste, was über 7 Mio. Fahrgästen/Jahr (Stand 2002) entspricht. In der Verkehrsspitze werden 3000 Fahrgäste befördert. Es werden hierzu 40 Fahrten pro Stunde mit 14 Doppelgelenkbussen (Linie 12s)



**Bild 33:** Die Uithof-Trasse im Zentrum von Utrecht. Beachtenswert: Es kommen hohe Borde und Fußgänger-Lichtsignalanlagen zum Einsatz. (HONDIUS)



**Bild 34:** Besonderer Fahrweg mit beiderseitigem Grünstreifen im Bereich Rijnsweerd (HONDIUS)





Bild 35: Beginn der rund 800 m langen, unabhängig geführten Asphaltstraße der südlich gelegenen Om de Zuid-Trasse nach Uithof.



Bild 36: Großzügig angelegte Om de Zuid-Trasse. Im Hintergrund trifft sie mit der Uithof-Trasse zur gemeinsamen Erschließung des „Universitätszentrum De Uithof“ zusammen.



Bild 37: Der Buszug Van Hool AGG 300 im „Universitätszentrum De Uithof“, Ausstiegshaltestelle



Bild 38: Der Vleutensweg mit mittigem Grünstreifen ist Bestandteil der zukünftigen Strecke nach Leidsche Rijn. Zur Anwendung kommt ein baulich erhöhter besonderer Fahrweg in Mittellage.

und 8 Einfach-Gelenkbussen (Linie 13) durchgeführt. Eine 800 m lange, unabhängige ÖPNV-Trasse konnte bereits für den HOV-Betrieb fertiggestellt werden (**Bild 35**). Vor dem Endpunkt beider Linienführungen vereinigen sich der nördliche und der südliche Streckenast zur gemeinsamen Erschließung des Universitätszentrums De Uithof (**Bild 36**). Durch die Linienüberlagerung ergibt sich in De Uithof in der Verkehrsspitze eine Taktfrequenz deutlich unter 2 min. Die Fahrzeugbeschaffungskosten (27 Doppelgelenker, Bauart Van Hool AGG 300 für beide Streckenäste) belaufen sich auf rund 11 Mio. EUR (Stückpreis 408.000 EUR; **Bild 37**).

Westwärts, in Richtung Vleuten-De Meern/Leidsche Rijn, gibt es neben der geplanten RSS (RandStadSpoor), einer S-Bahn, ebenfalls eine nördliche und eine südliche HOV-Trassierung, die sich zur gemeinsamen Erschließung des Bezirks Vleuten-De Meern wieder vereinigen. Beide westlichen HOV-Streckenvarianten erfordern jeweils den Neubau einer Brücke über den in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Amsterdam-Rijn-Kanal und sind zur Zeit erst auf Teilstrecken baulich vom MIV getrennt. Mit einer endgültigen Fertigstellung der beiden „Vleuten-Linien“ wird für 2007 gerechnet (**Bild 38**). Das Fahrgastaufkommen für den nördlichen Streckenast, der das Siedlungsgebiet Leidsche Rijn durchquert, wird mit 25.000 Fahrgästen pro Tag abgeschätzt. Für die RSS-Bedienung sind 25.000 bis 30.000 Fahrgäste pro Tag hochgerechnet worden. Für die südliche Trassierung über Papendorp rechnet man mit über 15.000 Fahrgästen pro Tag, wovon 5000 ihre Fahrt in Leidsche Rijn enden oder beginnen lassen; die weiteren Fahrgäste werden direkt aus Papendorp kommen.

#### • Fahrweg

Es werden vorrangig Eigentrasse in Randlage oder ÖPNV-Straßen, die für den MIV gesperrt sind, verwendet (**Bild 39 u. 40**). Die Eigentrasse bzw. die ÖPNV-Straßen sind in ihrer Breite geschwindigkeitsabhängig dimensioniert worden. Sie sind dort, wo 30 km/h gefahren werden, 6,50 m breit und erweitern sich bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h auf 7,00 m. Auf den Abschnitten, wo mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h gefahren wird, beträgt ihre Breite 7,30 m.

Es sind bisher ausschließlich Betonstraßen mit einer Deckschicht aus einem Epoxid-Belag (0,5 cm) in roter Farbe zum Einsatz gekommen. Die 30 cm starke Betonkonstruktion ist bewehrt. Als Unterbau wird eine 30 cm dicke Schotter- und Kiesschicht verwendet. Die ausgeführte Fahrwegkonstruktion sowie gewählte Trassierungsparameter lassen die Möglichkeit offen, zu einem späteren Zeitpunkt auf einen Stadtbahnbetrieb überzugehen. Zur Schienenlagerung kämen dann in die Fahrwegkonstruktion gefräste Längsschlitze zur Ausführung, in die die Rillenschienen eingelegt und mit einer Vergussmasse verklebt würden. Die Trasse ist nicht vollständig leitungsfrei; teilweise wurde eine spätere Zugänglichkeit über Schachtanlagen, die mit einer Betonplatte in einem Stahlrahmen überdeckt werden, sichergestellt.



Im Bereich des östlichen Streckenastes ist eine Unterführung gebaut worden (Tunnelbak Berenkuil, **Bild 41**), die 2001 eröffnet wurde. Im Bereich des westlichen Streckenastes sind zwei Brückenbauwerke zur Überquerung des Amsterdam-Rijn-Kanals im Bau (Papendorpse Brug) bzw. in Planung (Leidsche Rijn Brug).

- **Haltestellen und dynamische Fahrgastinformation**

Die Haltestellen werden mit einer Regellänge von 60 m angelegt und besitzen ein einheitliches Design. Die Höhe des gewählten Formsteins beträgt 18 cm, die Oberfläche der Anfahrkante ist glatt und senkrecht. Die Spaltbreite beträgt im jetzigen Betriebsmodus 70-150 mm. Der obere Wert soll mittelfristig u. a. durch ein Fahrertraining auf 100 mm verringert werden (**Bild 42**).

An allen Haltestellen und in den Fahrzeugen der HOV-Linien soll ein dynamisches Fahrgastinformationssystem zum Einsatz kommen. Im Jahre 2004 wird die erste Ausbaustufe des Ris (Reizigers Informatie Systeem) in Betrieb genommen werden (**Bild 43**).

- **Nachfrage aus dem Zubringerverkehr**

Die Linienbusse sind über mehrere gemeinsame Haltestellenanlagen mit den HOV-Linien verknüpft. Da die Innenstadt aufgrund der geringen Distanz von nahezu allen Linienbussen ebenso wie von den HOV-Linien bedient wird, hat man von dem Bau von Umsteigeanlagen absehen können. Der wichtigste Knotenpunkt ist der Utrechter Hauptbahnhof, wo die HOV-Linien mit dem SPNV, der Stadtschnellbahn SUN und dem (regionalen) Linienbusverkehr verknüpft werden. Der Utrechter Hauptbahnhof wird ab 2004 zu einem modernen ÖV-Terminal umgebaut.

Ein wichtiger Bestandteil des Beförderungskonzeptes sind Park-and-Ride-Anlagen, von denen drei mit insgesamt knapp 5000 Stellplätzen geplant sind. Sie sollen allesamt an Autobahnein- und ausfahrten angelegt werden. Bei einem Umstieg auf die HOV-Linien sollen die Pkw-Insassen die Innenstadt jeweils in weniger als 15 min erreichen. Die Park-and-Ride-Anlage im Bereich Papendorpse (2000 Stellplätze) soll darüber hinaus das Utrechter Messegelände mit seinen zahlreichen und vielbesuchten Veranstaltungen entlasten.

- **Merkmale der Betriebsabwicklung**

In Utrecht kommt in allen ÖPNV-Fahrzeugen das Vecom-System zum Einsatz, welches in der Regel Induktionsschleifen zur Beeinflussung von Lichtsignalanlagen erfordert. Im Linienverkehr wird bei den Buszügen sofortiges Grün angestrebt. In jedem Falle soll die Wartezeit auf unter zehn Sekunden begrenzt sein.



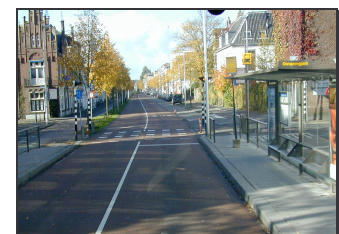
**Bild 39:** Besonderer Fahrweg mit halbhoher, überfahrbarer Bordstein, um eine hohe Störungsfreiheit sowohl des MIV als auch des HOV-Verkehrs gewährleisten zu können.



**Bild 40:** Besonderer Fahrweg im Bereich der Haltestelle Pythagoraslaan



**Bild 41:** In Tieflage unter der Berenkuil. Die Uithof-Trasse kreuzt hier planfrei eine Autostraße. (HONDIUS)



**Bild 42:** Uithof-Trasse mit Haltestelle. Als Anfahrhilfe kommt ein glattes Bord ohne besondere Formgebung zum Einsatz. Längs des Bords ist zur Vermeidung von Spritzwasser eine Entwässerungsrinne angelegt.



Bild 43: Der Van Hool Doppelgelenker an einer Referenzhaltestelle, die zukünftig auf der gesamten HOV-Strecke installiert wird. Bei der dynamischen Fahrgastinformation (Ris) werden die drei nächsten Fahrzeuge angekündigt. (HONDIUS)

Die HOV-Doppelgelenker werden auf dem vorhandenen Betriebshof der GVU instand gehalten. Es mussten einige Betriebsabläufe optimiert werden, um auf Rückwärtsfahrten verzichten zu können. Beispielsweise ist im Bereich der vorhandenen Arbeitsgrube nachträglich ein Rolltor als gegenüberliegende Ausfahrt eingebaut worden, damit das Werkstattpersonal nun die Doppelgelenker nicht mehr rückwärts bewegen muss (wie das seinerzeit bei den Standard- und Einfach-Gelenkbussen der Fall war). Auch wurde die Stellplatzanordnung auf dem Betriebshof neu organisiert. Darüber hinaus sind mobile Hebeböcke angeschafft worden, um die Doppelgelenkbusse anheben zu können. Die Aufwendungen im Bereich der Werkstätten können mit 0,2 Mio. EUR abgeschätzt werden.

#### 4.4 Rouen: Transportsystem Busbahn

- **Hintergrund der Transportsystemwahl**

Bei einer Studie aus dem Jahre 1986 musste der Zweckverband SIVOM (Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples) feststellen, dass das ÖPNV-Angebot und die Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel um 25% geringer war als jene anderer französischer Agglomerationen vergleichbarer Größe. Angesichts dieses Ergebnisses hat der Zweckverband eine Studie über drei Lösungen zur Verbesserung der Struktur des Nahverkehrsangebots durchgeführt.

Verglichen wurde die Weiterentwicklung des Linienbusnetzes mit drei Alternativen eines aufgewerteten Nahverkehrs auf Eigentrassen: VAL (Véhicules Automatiques Légères, kleinprofilige vollautomatische Métro), GLT/TVR und Stadtbahn. Politisch wurde von vornherein letztere Lösung bevorzugt, um die Tendenz der Nahverkehrsentwicklung umzukehren.

Die Entscheidung fiel schließlich im Jahre 1988 zugunsten eines Stadtbahnprojekts in Nord-Süd-Richtung. Es gab zuvor eine heftige Diskussion, ob die Stadtbahn in der Innenstadt oberirdisch oder unterirdisch verkehren sollte, da die Einzelhändler nicht bereit waren, das neue Verkehrsmittel in der Einkaufszone zu akzeptieren. Trotz der für eine nicht sehr große Agglomeration immensen Kosten entschied man sich schließlich für eine unterirdische Trassierung, da es auf diese Weise möglich war, die gesamte Innenstadt in nur vier Minuten zu unterqueren, was für den Kraftfahrzeugverkehr undenkbar wäre. Hier sah man einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil gegenüber dem MIV.

Die Stadtbahn wurde im Dezember 1994 in Betrieb genommen und hat ihren nördlichen Endpunkt in Boulogrin. Nach der Überquerung der Seine verzweigt sie sich in zwei südliche Streckenäste: Technopôle und Georges Braque (**Abbildung 7**). Die Stadtbahn verkehrt auf ihren 15 km Streckenlänge auf eigenem Gleiskörper (**Bild 44**).

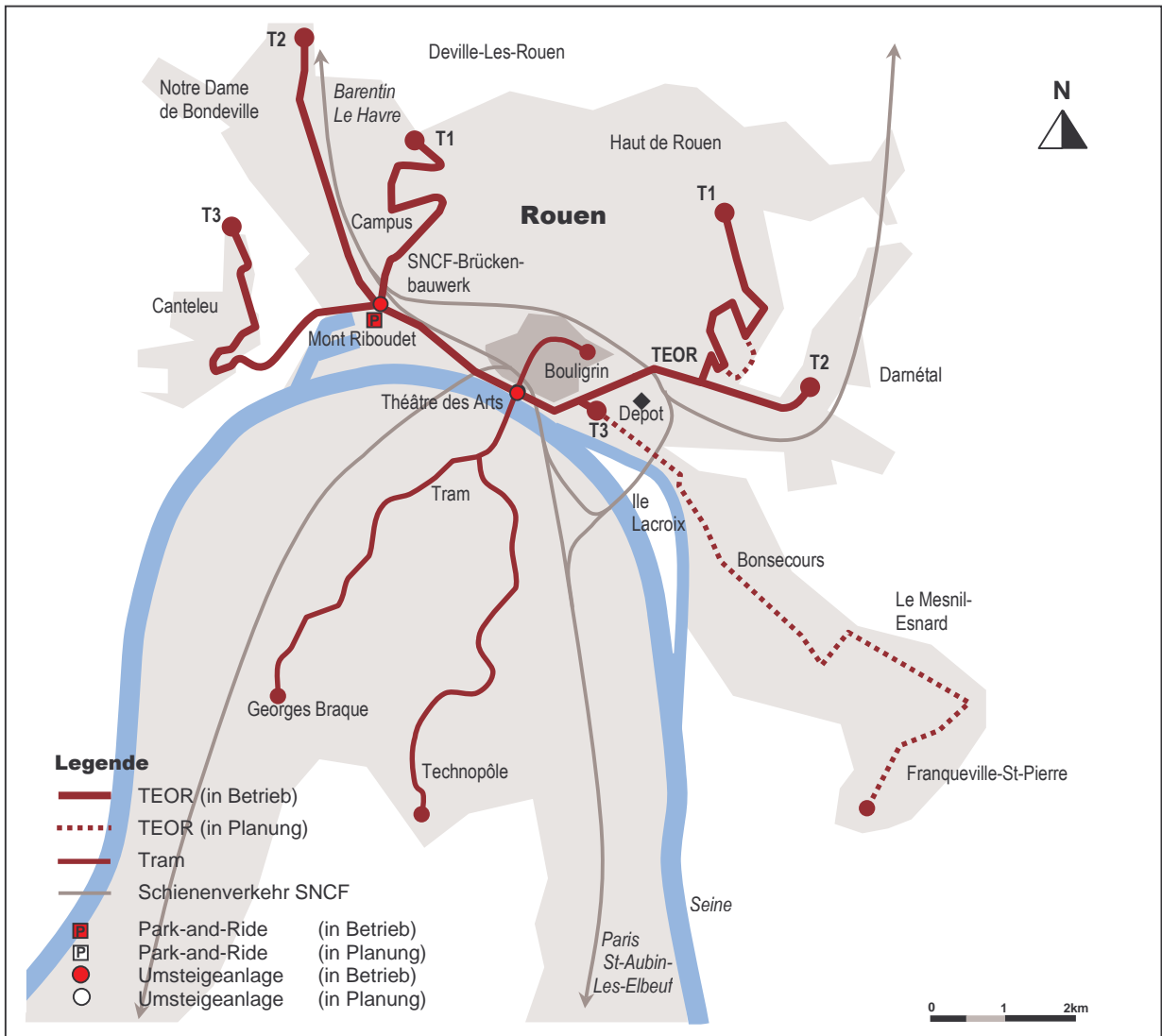


Abbildung 7: Öffentliche Transportsysteme in Rouen

Nach der Inbetriebnahme der Stadtbahn und der Umstrukturierung des Linienbusverkehrs („Métrobus“-Netz) machte sich der Erfolg der beiden Stadtbahnlinien schnell bemerkbar. Der Initiator dieses Projekts wurde daraufhin bei den Kommunalwahlen 1995 zum Bürgermeister der Stadt gewählt. Er hat sich sofort für eine Ost-West-Verbindung eingesetzt, da der Universitätscampus, das Universitätsklinikum und das Gebiet Le Haut de Rouen (30.000 Einwohner) noch nicht an das Stadtbahn-Netz angeschlossen waren. Um den Campus und das Gebiet Le Haut de Rouen zu erschließen, sind allerdings Steigungen von bis zu 10% zu bewältigen, eine Längsneigung, die das bisher eingesetzte Stadtbahnfahrzeug TSF II (Tramway Standard Français) nicht geschafft hätte. Ein Ausbau auf Basis der vorhandenen Stadtbahn war deshalb nicht möglich.

Der Bürgermeister gab daher auf der Suche nach einem geeigneten Transportsystem zunächst eine Studie über eine Seilbahn, die bei den örtlichen Entscheidungsträgern eine gute Resonanz fand, in Auftrag.



Bild 44: Stadtbahn Richtung Bouligrin bei der Einfahrt in den Tunnelabschnitt im Innenstadtbereich Rouen (Haltestelle Théâtre des Arts)



Bild 45: Transportsystem TEOR, Civis-Vorserienfahrzeug (LA VIE DU RAIL)

Aber Entwurfsplanungen zeigten auch hier die Grenzen einer wirtschaftlichen Realisierbarkeit auf. Als Entscheidungshilfe haben sich die Verantwortlichen schließlich für eine „theoretische“ Vergleichsstudie zwischen den in Frage kommenden Transportsystemen entschieden: betrachtet wurden GLT/TVR, Straßenbahn und Seilbahn. Ziel war lediglich, die Größenordnung der Gesamtkosten zu ermitteln. Im Rahmen einer Ausschreibung wurden Angebote konkurrierender Fahrzeughersteller eingeholt, was nach dem Vergleich für eine Überraschung sorgte. Die drei Technologien kosteten etwa das Gleiche, und zwar zwischen 274,4 Mio. EUR und 335,4 Mio. EUR.



Bild 46: Agora-Bus, unterwegs auf der rot eingefärbten Stammachse kurz vor Mont Riboudet

Aufgrund des teuren Stadtbahn-Netzes (Stand 1995: 472,6 Mio. EUR) war der Zweckverband CAR (Communauté d'Agglomération), Nachfolgeorganisation der SIVOM, nicht bereit, noch weitere über 300 Mio. EUR in ein neues Transportsystem zu investieren, da dies die Abwicklung anderer wichtiger Nahverkehrsaufgaben verhindert hätte. Deshalb wurde für die Ost-West-Verbindung keine Stadtbahn, sondern ein leichtes und kostengünstiges System auf Basis der Bustechnologie geplant: das so genannte Transportsystem TEOR (Transport Est Ouest Rouennais). Das Busbahn-System mit Civis-Fahrzeugen ermöglicht Kostenvorteile, so dass der Rahmen der festgesetzten Investition von 152,4 Mio. EUR, nicht überschritten wird. Baubeginn des TEOR-Systems war Ende 2000 (**Bild 45**). Die Betreibergesellschaft TCAR (Transports en Commun de l'Agglomération Rouennaise) gehört zur Connex-Gruppe.

#### • Linienführung

Die Linien T2 und T3 sind seit Februar 2001 in Betrieb, während die Linie T1 erst im April 2002 eröffnet wurde. Die TEOR-Linien werden nach endgültigen Verlängerungen auf insgesamt 37,9 km Linienlänge ausgebaut sein (Zielnetz 2004) und benutzen im Bereich der Altstadt von Rouen eine 5,8 km lange, bevorrechtigt geführte Stammstrecke (**Bild 46**). Zur Zeit verkehren zwei Civis-Pré-Séries (Vorserienfahrzeuge) auf der Strecke und werden getestet. Bis zum Jahr 2006 werden die 38 derzeit eingesetzten Agora-Busse ab 2004 nach und nach durch 55 Civis-Gelenkbusse ersetzt:

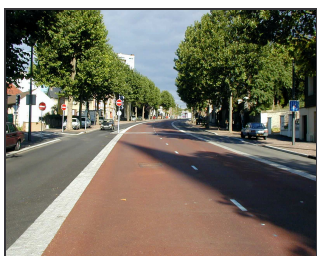


Bild 47: Linie T2 Richtung Notre Dame de Bondeville, Voirie réservée in Mittellage

- Die *Linie T1* verbindet den Campus über die Innenstadt mit dem Universitätsklinikum und soll zukünftig bis Haut de Rouen verlängert werden. Die Linie wird 14,1 km lang sein und über 29 Haltestellen verfügen (Zielnetz 2004).
- Die *Linie T2* verbindet die Kommune von Notre Dame de Bondeville mit der Innenstadt sowie dem Universitätsklinikum und soll bis zur Kommune von Darnétal verlängert werden. Sie wird dann 12,2 km lang sein und aus 30 Haltestellen bestehen (Zielnetz 2004; **Bild 47**).



- Die *Linie T3* verbindet die Kommune von Canteleu im Westen mit der Innenstadt und dem Universitätsklinikum. Sie ist 11,6 km lang und hat 25 Haltestellen. Bis 2006 soll eine Verlängerung nach Bonsecours und Franqueville-Saint-Pierre fertiggestellt sein.

Die ersten erfassten Werte der Fahrgastzählungen auf den Linien T3 und T2 (ohne T1) sind für das Jahr 2001 hochgerechnet worden. Ermittelt wurde für das Startsystem (mit Agora-Fahrzeugen, ohne Einsatz der optischen Spurregelung) ein Fahrgastaufkommen von rund 3 Mio. Fahrgästen/Jahr; mittlerweile sind über 5 Mio. Fahrgäste auf den Linien T1 bis T3 unterwegs (Jahr 2002). Laut Aussage der Verantwortlichen könnte das Busbahn-System – im Falle einer Auslastung entsprechend den wesentlich höheren Planwerten – teilweise auch durch eine neue Straßenbahn ersetzt werden. Die vorhandene Trasse sowie Infrastruktur würde die Entscheidung vereinfachen.

#### • **Kosten und Finanzierung**

Für die erste Phase der TEOR-Linien werden Gesamtkosten in Höhe von 154,1 Mio. EUR (2002) erwartet. Darin enthalten sind 18,8 Mio. EUR für 35 Agora-Fahrzeuge, wobei das optische Leitsystem anteilig mit über 100.000 EUR je Fahrzeug zu Buche schlägt. Nicht enthalten sind die Beschaffungskosten der 55 Cavis-Fahrzeuge (800.000 EUR je Fahrzeug) sowie notwendige Umbauten der Betriebshofanlage. Die mittleren Infrastrukturkosten variieren stark und liegen dort, wo ein zweistreifiger Fahrkörper neu angelegt wurde, bei deutlich über 5 Mio. EUR. Das TEOR-Projekt wird finanziert von der CAR mit einem Eigenanteil von 51,1 Mio. EUR, der sich im Wesentlichen auf die Versement de Transport stützt, eine Nahverkehrsabgabe, die von Unternehmen mit mehr als neun Beschäftigten zu erbringen ist. Subventionen sind mit dem Staat (32 Mio. EUR), dem Departement (18,7 Mio. EUR), der Region (18,7 Mio. EUR) sowie den Kommunen (9,4 Mio. EUR) abgestimmt. Es erfolgen noch Beteiligungen von privaten Anlegern.

#### • **Fahrweg**

Die TEOR-Linien verkehren zu 17 km auf Eigentrasse oder auf besonderen Fahrkörpern, deren Asphaltbelag zur Unterscheidung von den Verkehrsflächen des MIV rot eingefärbt ist. Der eingefärbte Straßenbelag soll den Wiedererkennungswert des TEOR-Systems fördern. Zudem sind diese Fahrkörper gegenüber den Verkehrsflächen des MIV baulich leicht erhöht. Auf den Streckenästen ist teilweise nur stadteinwärts ein besonderer ÖPNV-Fahrkörper verwirklicht (**Bild 48**). Auch konventionelle Sonderfahrstreifen (Busspuren) sind umgesetzt worden. Die Fahrwegbreite eines Fahrstreifens ist mit 3,20 m für Geschwindigkeiten bis 50 km/h festgelegt. Hinzu kommt noch ein beiderseitig zu berücksichtigender Si-

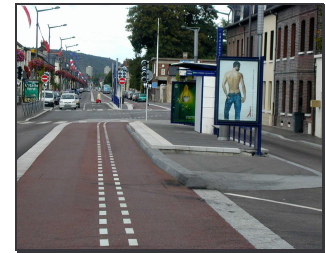


Bild 48: T2 in Richtung Notre Dame de Bondeville. Einstreifiger besonderer Fahrweg mit Haltestelleninsel in Mittellage. (HOLSTEIN)



Bild 49: TEOR-Stammachse als Voirie protégée (HOLSTEIN)



Bild 50: Linie T1 auf einer unabhängigen Eigentrasse vor dem Anstieg zum Campus. Im Hintergrund das neu erstellte SNCF-Brückenbauwerk. (TCAR)



**Bild 51:** Hochwertige Gestaltung und Ausstattung der TEOR-Haltestellen. Beachte das abgeschrägte Bord mit Rücksprung. Abschluß der Wartefläche bildet ein Kantstein mit Noppen.



**Bild 52:** Dynamische Fahrgastinformationssystem SIV mit Monitor



**Bild 53:** Haltestellenanfahrt mit optischer Spurregelung auf der Linie T2. Die zulässige Einfädelungsgeschwindigkeit beträgt 30 km/h.



**Bild 54:** Geradlinige Haltestellenanfahrt und damit nahezu spaltfreier Ein- und Ausstieg. Die optische Spurregelung ist zum Zeitpunkt der Aufnahme (2001) allerdings noch nicht betriebsbereit gewesen.

cherheitszuschlag von 0,30 m. Bei zwei Richtungsfahrestreifen hat das Querschnittsprofil demnach eine Breite von 7,30 m (**Bild 49**). Als Fahrwegkonstruktion ist eine verformungsresistente Asphaltstraße mit einer 6 cm dicken Deckschicht BB 0/14 (Béton bitumineux) mit polymermodifiziertem Bindemittel zur Ausführung gekommen.

Im Rahmen der TEOR-Trassierung musste auch eine SNCF-Brücke (Fond de Val) der Schienenstrecke Paris-Le Havre neu erstellt werden. Die Gesamtkosten lagen hierfür bei rund 7 Mio. EUR (**Bild 50**).

#### • Haltestellen und dynamische Fahrgastinformation

Auf den TEOR-Linien sind 39 hochwertige Haltestellen geplant (Zielnetz 2004), 16 davon sind bereits vollständig eingerichtet. Nach der Restrukturierung des Gesamtnetzes sollen alle Haltestellen der TEOR-Linien ein einheitliches Design haben und mit Wartehäuschen, Sitzgelegenheit, Fahrscheinautomaten, Fahrplänen und Fahrgastinformation ausgestattet sein (**Bild 51**). Es kommt außerdem das dynamische Fahrgastinformationssystem SIV zum Einsatz (Système d'Information des Voyageurs). Die Stadtbahnlinien sind bereits komplett mit 57 SIV-Geräten ausgerüstet, auf den TEOR-Linien sind 72 SIV-Geräte geplant (**Bild 52**).

Die Haltestellenlänge beträgt je nach Taktdichte entweder 20 oder 35 m. In den Haltestellenbereichen werden die Agora- und Civi-Fahrzeuge optisch spurgeregelt, um die Spaltbreite an den 270 mm hohen Haltestellen-Plattformen zu reduzieren. Die zulässige Einfädelungsgeschwindigkeit beträgt entsprechend den verkehrstechnischen und fahrgeometrischen Randbedingungen vor der Haltestelle zwischen 15 und 30 km/h (**Bild 53 u. 54**).

#### • Nachfrage aus dem Zubringerverkehr

Die Linienbusse dienen als Ergänzung der Stadtbahn-Linien und der TEOR-Linien. Die Busse sind über mehrere Umsteigeanlagen mit der Stadtbahn und mit den TEOR-Linien verbunden. Der wichtigste Knotenpunkt des Zubringer- und Verteilerverkehrs ist Théâtre des Arts, wo die Stadtbahn auf die TEOR-Linien und mehrere weitere Buslinien trifft. Eine neue Umsteigeanlage wurde bei Mont Riboudet gebaut, wo die TEOR-Linien mit fünf weiteren Buslinien verknüpft sind (**Bild 55**).

In Ergänzung zu der Umsteigeanlage ist an gleicher Stelle auch eine neue Park-and-Ride-Anlage (1.000 Parkplätze) mit direktem Zugang zu den TEOR-Linien errichtet worden. Die Stellplatzanlage wurde an der Einmündung zur Autobahn A 150 gebaut, um den Autofahrern die Möglichkeit zu bieten, ihre Autos zu parken und die öffentlichen Verkehrsmittel zu benutzen, wobei die Parkgebühren mit dem TEOR-Ticket zu bezahlen sind.

- **Merkmale der Betriebsabwicklung**

Die Betriebsleitzentrale sämtlicher Betriebszweige des Métrobus-Netzes befindet sich im Espace Métrobus direkt über der Haltestelle Théâtre des Arts. In dieser werden sowohl die Strecken der Stadtbahn, des TEOR-Systems sowie des Linienbusverkehrs mit Hilfe des SAE (Système d'Aides d'Exploitation) verwaltet, als auch der Betriebsablauf überwacht. Die TEOR-Linien werden gegenüber dem MIV bevorzugt. Die An- und Abmeldung an Lichtsignalanlagen erfolgt konventionell über Induktionsschleifen. Es gilt die verkehrspolitische Vorgabe, dass die TEOR-Fahrzeuge möglichst nur zum Fahrgastwechsel anhalten.

Für den derzeitigen Einsatz der Agora Standard-Gelenkbusse sind einige Verkehrsflächen der Betriebshofanlage verstärkt oder teilweise neu gebaut worden, da sich durch die hochwertige Ausstattung (Klimaanlage etc.) die Achslast erhöht hat. Darüber hinaus fanden bisher keine Anpassungen im Betriebshof statt (**Bild 56**). Für den Einsatz des Civis ab 2004 wird der Betriebshof neu organisiert und der Werkstattbereich umgebaut. So müssen für die diesel-elektrischen Fahrzeuge aufgrund der zahlreich dachseitig angeordneten Aggregate u. a. Dacharbeitsbühnen vorgehalten werden. Bis jetzt liegen aber noch keine konkreten Pläne oder Kostenschätzungen vor.



Bild 55: Umsteigeanlage Mont Ribou-det. Die TEOR-Linien bedienen die Mittellage. (HOLSTEIN)



Bild 56: Eines der beiden Civis-Vorserienfahrzeuge in der Betriebshofanlage der TCAR

## 4.5 Eindhoven: Transportsystem Busbahn

- **Hintergrund der Transportsystemwahl**

Das Projekt Phileas wird von dem Zweckverband SRE (Samenwerkingsverband Regio Eindhoven) seit Anfang der neunziger Jahre voran geführt. Phileas steht hierbei für ein hochwertiges ÖPNV-Netz auf Eigentrassen (HOV, Hoogwaardig Openbaar Vervoer), welches das Stadtliniennetz, betrieben von dem privaten Verkehrsunternehmen Hermes, ergänzt. Die Projektentwicklung ist durch folgende Rahmenbedingungen bestimmt worden:

- Eindhoven ist eine Stadt, deren prägende städtebauliche Merkmale aus der Zeit der sechziger Jahre herrühren, als das Leitbild einer autogerechten Stadt die Verkehrsplanung bestimmte. So wurden die Hauptverkehrsachsen vornehmlich sehr weitläufig angelegt. Das Trennungsprinzip der Verkehrsarten überwiegt, und es sind zahlreiche vierstreifige Verkehrsstraßen entstanden, die auf Teilstrecken bereits über separierte Rad- und Fußwege, Eigentrassen für Busse in Seiten- oder in Mittellage sowie Grünstreifen verfügen (**Bild 57**).
- Eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung des neuen Transportsystems spielten insbesondere Aspekte der regionalen Wirtschaftsförderung. In der Region Eindhoven gibt es neben dem Philips-Konzern zahlreiche High-Tech-Betriebe, die Zulieferprodukte für die Automotoren



Bild 57: HOV-Trasse in Mittellage. Recht großzügige Straßenräume bestimmen das Bild Eindhovens auch in der Innenstadt.



bilindustrie herstellen und sich in einer schlechten Auftragslage befanden. Insbesondere der Konkurs der Nutzfahrzeughersteller DAF und United Bus zeigte die Notwendigkeit wirtschaftlicher Impulse.

- Neue Bebauungsprojekte, die sich im so genannten „Westcorridor“ befinden und damit dem Raumordnungsprogramm VINEX unterliegen, führten zu der Konkretisierung eines hochwertigen Transportsystems. Im Vordergrund stand hierbei eine konkurrenzfähige Anbindung des Airport Eindhoven und des in der Bauphase befindlichen Siedlungsgebiets Meerhoven (6500 Wohneinheiten) an die Innenstadt. Es sind hierbei staatliche Finanzierungshilfen in Aussicht gestellt worden. Die Umsetzung weiterer Großprojekte, die von der HOV-Trasse durchquert werden, sind für den Zeithorizont 2010 geplant (FlightForum, Strijp S, Transferium A2).

Durch das Projekt Phileas werden die oben aufgeführten Einzelumstände zu einem wirtschaftlichen und verkehrlichen Förderungsprogramm der Region Eindhoven miteinander verknüpft. Ziel ist es, die vorhandenen Bustrassen durch Änderungen und Erweiterungen zu durchgehenden ÖPNV-Eigentrasse aufzuwerten, aktive Stadtentwicklung zu betreiben sowie in der Eindhovener Region ein eigenes Fahrzeug für den Betrieb zu entwickeln und zu fertigen. So konnte man bestmöglich in den Anspruch der Finanzierungsbeihilfen des Raumordnungsprogramms kommen – bei gleichzeitiger regionaler Wertschöpfung. Eine Reduzierung des vorhandenen Kraftfahrzeugverkehrs wird angestrebt, steht aber bei dem Projekt Phileas nicht im Vordergrund.

Die Projektentwicklung begann schließlich im Jahre 1994 mit der Stichting Platform Hoogwaardig Openbaar Vervoer (SP HOV), einem Diskussionsforum für den hochwertigen ÖPNV in der Region. Teilnehmer waren Bova, NedCar, Duvedec und die Brabantse Ontwikkeling Mij (BOM), eine Wirtschaftsförderungsgesellschaft. Nachdem sich die Entwicklungsstudien konkretisiert hatten, wurde 1998 aus der SP HOV die APTS mit folgenden Anteilseignern:

- Van Der Leegte-Groep (u. a. Berkhof-Jonckheere) mit 52%, Eindhoven
- Bova mit 18%, Valkenswaard
- Simac Techniek, ebenfalls mit 18%, Veldhoven
- BOM, 12%.



**Bild 58:** Busbahn Phileas, APTS, in der Doppelgelenkversion auf der Eindhovener Versuchsstrecke

Die europäische Ausschreibung aus dem gleichen Jahr gewann erwartungsgemäß APTS, und die SRE bestellten die ÖPNV-Fahrzeuge entsprechend der „Eindhovener Technologielösung“. Alle Unterlieferanten entstammen der Region (PD&E/Automobilenentwicklung, Helmond; Alstom Transport/Hybridantrieb, Ridderkerk; Duvedec/Design, Sittard; Fokker Special Products (neu Stork)/Wagenkasten, Hoogeveen; FROG Navigation Systems/Querführung, Utrecht, in Zusammenarbeit mit der Universität Eindhoven; **Bild 58**).

• **Linienführung**

Im September 2003 soll nun eine Halbmesserlinie ab Eindhoven Hauptbahnhof in westlicher Richtung in Betrieb genommen werden. Die Halbmesserlinie teilt sich nach einer sechs Kilometer langen Stammachse im neuen Siedlungsgebiet Meerhoven auf in einen drei Kilometer langen nördlichen Streckenast in Richtung Airport Eindhoven sowie einen sechs Kilometer langen südlichen in Richtung Veldhoven (**Abbildung 8**). Im Wohngebiet Veldhoven wird eine Schleife mit drei Haltestellen ohne Betriebspause gefahren. Am Busbahnhof Neckerspoel, der unmittelbar vor dem Eindhovener Hauptbahnhof liegt, werden zwei Bussteige für den Phileas-Betrieb neu gestaltet. Die gesamte Streckenlänge der Linien A und B beträgt 15 km.

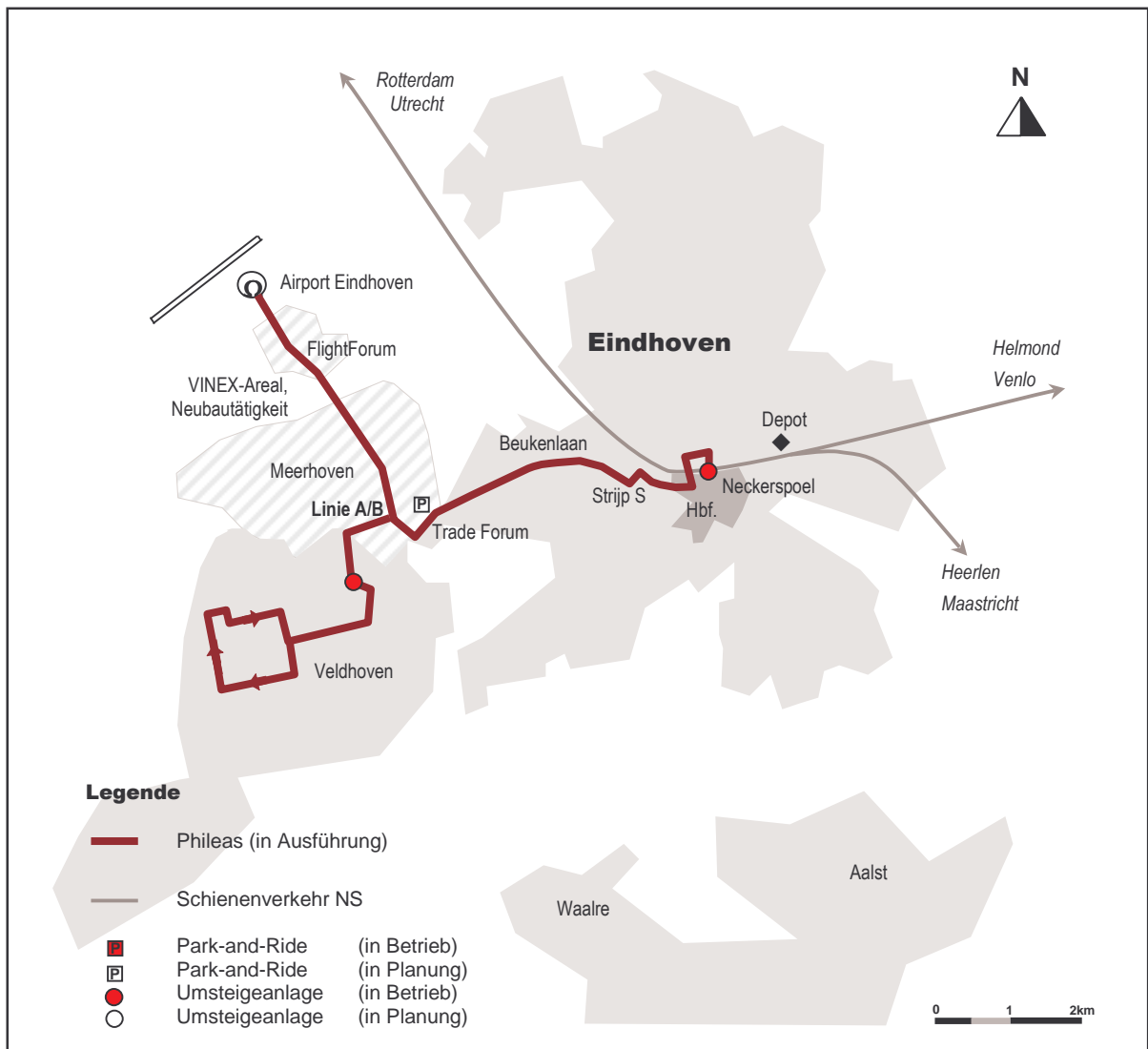


Abbildung 8: Öffentliche Transportsysteme in Eindhoven



Bild 59: CS Neckerspoel: Die ersten beiden Bussteige (rechts) werden noch erhöht. Unübersehbar die hohe Fahrradnutzung in Eindhoven.

Man erwartet zu Beginn des Phileas-Betriebs Ende 2003 zunächst 5.000, später 10.000 Fahrgäste/Tag. Aufgrund der geringen Siedlungsdichte, dem hohen Radfahreranteil sowie dem gut ausgebauten MIV-Streckennetz rechnet man vorerst nicht mit einem weiteren Ansteigen des Fahrgastaufkommens (**Bild 59**). Die beiden Streckenäste sollen in der Startphase alle 15 Minuten bedient werden, so dass sich auf der Stammachse ein 7,5-min-Takt ergibt. Später soll dieser Takt weiter verdichtet werden.

#### • Kosten und Finanzierung

Die Projektkosten betragen 115 Mio. EUR, wobei 70 Mio. EUR für die Änderungen und Erweiterungen der Infrastruktur in Anspruch genommen werden. Die Kosten pro erstellten Trassenkilometer werden mit durchschnittlich 4 bis 5 Mio. EUR angegeben. Der Fuhrpark, bestehend aus 12 Fahrzeugen, kostet einschließlich der Entwicklungskosten 40 Mio. EUR; weitere 5 Mio. EUR fließen in die Steuerungs- und Regelungseinrichtungen. Die Gegenfinanzierung erfolgt durch Haushaltsmittel der niederländischen Ministerien für Verkehr (V&W), Wirtschaft (EZ) und Umwelt (VROM) in Höhe von 50 Mio. EUR. Der verbleibende Finanzierungsbetrag wird durch die Gemeinden Eindhoven (20 Mio. EUR) und Veldhoven (2 Mio. EUR) gedeckt, sowie durch Stimulus, ein von der Europäischen Union subventioniertes wirtschaftliches Förderungsprogramm. Weitere Finanzierungsbeiträge kommen von der Provinz Noord Brabant und von der lokalen Industrie. Die Gemeinde Eindhoven finanziert darüber hinaus die Unterführung Tunnelbak Beukenlaan, was mit rund 27 Mio. EUR zu Buche schlägt. Die Ringstraße Beukenlaan, eine der am höchsten belasteten Verkehrsadern von Eindhoven, wird dann in einfacher Tiefenlage die HOV-Trasse des Phileas kreuzen.

#### • Fahrweg

Der Standard-Oberbau ist eine 6,60 m breite Betonstraße mit Quer- und Längsfugen, die in Gleitschalungs-Fertigungstechnik hergestellt wird. Die Entwurfsgeschwindigkeit beträgt hierbei auf der gesamten Strecke 50 km/h. Der sandige Untergrund ist in Eindhoven sehr tragfähig, und man konnte auf eine kontinuierlich aufgelagerte, nicht bewehrte Betonplatten-Konstruktion mit einer Stärke von 23 cm zurückgreifen. Diese vergleichsweise geringe Aufbauhöhe ist möglich geworden, da eine spätere Umstellung auf einen Straßenbahnbetrieb aufgrund des prognostizierten geringen Fahrgastaufkommens von vornherein ausgeschlossen wurden.



Bild 60: Die 6,60 m breite Eigentrasse in Seitenlage im Bereich Strijp S. Die ÖPNV-Trasse wird gegen 2010 aufgelassen, da dann das ehemalige Werksareal von Philips (links) zur Verfügung steht und städtebaulich entwickelt wird. Die Trasse soll dann über das jetzige Werksareal geführt werden.

Der Werkstoff Beton wurde zum einen aufgrund seiner im Vergleich zu den vorhandenen Asphaltstraßen hellen Farbgebung (Kontrastwirkung) gewählt, zum anderen, weil er wartungsarm ist und eine hohe Verformungsresistenz gegen Spurrinnen, vor allem im Bereich der Haltestellen,

besitzt. Für den angestrebten spurgeführten Phileas-Betrieb soll eine Fahrbahnbreite von 6,20 m genügen, jedoch bieten die zur Ausführung gekommenen 6,60 m breiten ÖPNV-Trassen den betrieblichen Vorteil, auch handgelenkte Fahrzeuge ohne Einschränkung einsetzen zu können (**Bild 60**).

Im Rahmen des HOV-Projekts ist die Errichtung zahlreicher Ingenieurbauwerke notwendig geworden. So sind im Bereich des FlightForums, eines neu zu entwickelnden Gewerbeparks, im Zuge der angestrebten kreuzungsfreien HOV-Trassierung eine Unter- und zwei Überführungen zu erstellen. Die Aufwendungen sind in den Gesamtkosten enthalten. Darüber hinaus wird zur Zeit die vierstreifige Ringstraße im Bereich Beukenlaan tiefergelegt.

Für die HOV-Trasse ist ein Gestaltungskatalog erstellt worden, in welchem Schemata für Querschnittsprofil, Material und Farbe festgelegt worden sind. Ziel ist es hierbei, der HOV-Trasse über die gesamte Streckenlänge einen wiedererkennbaren Charakter zu geben. Als Standardprofil kommt ein Querschnitt mit der HOV-Trasse in Mittellage zur Ausführung. Die HOV-Trasse ist dabei über einen Grünstreifen von den MIV-Richtungsbahnen getrennt. Es werden ausschließlich standardisierte Lichtmasten für die HOV-Trasse verwendet. Damit darüber hinaus ein Allee-Charakter entsteht, werden auf dem Grünstreifen Bäume gepflanzt, wobei nur eine Baumart zur Anwendung kommt, die hoch und schmal wächst und nicht in das Lichtraumprofil hineinragt (**Bild 61 u. 62**). Sonderlösungen kommen vor allem in Veldhoven zur Anwendung, wo die Trasse durch ein vorhandenes Wohngebiet geführt wird.

• **Haltestellen und dynamische Fahrgastinformation**

Auf den beiden Phileas-Halbmesserlinien werden 24 Haltestellen eingerichtet. Die Haltestellen erhalten ein eigenständiges Design, wobei grundsätzliche Gestaltungsmerkmale der bereits vorhandenen Haltestellen des Linienbusverkehrs aufgenommen werden. In den Wohnbezirken sind überdachte Fahrradabstellanlagen vorgesehen. Prägendes Merkmal der Haltestellenkonstruktionen ist ein filigraner Fachwerkträger aus Edelstahl, an dem unterseitig eine Glasplatte mit integrierter Beleuchtung befestigt ist (**Bild 63 u. 64**). Die Haltestellenkonstruktionen sind bereits an der Strecke montiert, es fehlt aber noch die Erhöhung der vorhandenen, 30 m langen Haltestellenplattformen von 150 auf 300 mm. Es wird dann auch ein Formstein eingebaut, der im unteren Anfahrbereich um einen Winkel von 62° geneigt, im oberen Bereich aber senkrecht ausgeführt ist, damit der Restspalt beim Ein- und Ausstieg nicht zu groß wird. Die Phileas-Fahrzeuge sollen durch die elektronische Spurregelung – kombiniert mit einer automatisierten Schräglaufstellung der Fahrwerke – optimal an die Haltestellenplattformen herangeführt werden. Im Bereich der Haltestellenkante wird die Gefahrenzone durch eine bodenseitige Lichtleiste



Bild 61: Eigentrasse in Seitenlage am Philipsstadion. Beachte die Straßenraumgestaltung mittels Lichtmasten, Grünstreifen sowie hochwachsenden Bäumen.



Bild 62: Beukelaan, zu erkennen sind auch hier die typischen Gestaltungselemente der ÖPNV-Trasse, die für einen hohen Wiedererkennungswert sorgen sollen.



Bild 63: Phileas-Haltestelle in der Basisversion (PHILEAS MAGAZINE)



Bild 64: Haltestelle Beukelaan, Testbetrieb ohne Fahrgäste (APTS)



hervorgehoben. Die Lichtleiste wird sich bei einfahrenden Busbahnen in ihrer Farbe verändern, damit die Aufmerksamkeit der wartenden Fahrgäste erhöht wird. Die wichtigsten Haltestellen werden mit Fahrkartenautomaten ausgestattet.

An den Phileas-Haltestellen wird über ein dynamisches Fahrgastinformationssystem (DRIS; Doorstroming, Regelmaat, Informatievoorzienig, Stiptheid) angezeigt, wann die nächsten drei Fahrzeuge ankommen werden. Darüber hinaus wird es möglich sein, neben den Fahrplänen in Echtzeit die gegenwärtige Betriebsabwicklung mitsamt möglichen Verspätungen über Internet oder WAP-Handy jederzeit abrufen zu können. In den Phileas-Fahrzeugen selbst werden Informationen über den Fahrweg, die folgenden Haltestellen sowie die erwartete Ankunftszeit am Linieneckpunkt gegeben werden. Wenn das Fahrgastinformationssystem in Betrieb ist, erwartet man, dass mindestens 5% mehr Reisende mit Phileas unterwegs sind.

- **Nachfrage aus dem Zubringerverkehr**

Es wird derzeit überlegt, ob bereits mit Beginn der Startphase in Veldhoven City Centrum einige Linienbusverbindungen gebrochen werden könnten. Der Gedanke eines großangelegten Zubringer- und Verteilerverkehrs wird aber erst bei den weiteren, in Planung befindlichen Phileas-Linien erwogen, da sich die geplanten Endpunkte sehr gut dazu eignen werden, Fahrgäste des regionalen Busverkehrs aufzunehmen. Zu diesem Zweck sind an den Phileas-Endpunkten der weiteren Planungsstufen hochwertige Umsteigeanlagen im Gespräch. Die Betriebsqualität soll durch eine rechnergestützte Anschlussüberwachung und -sicherung gewährleistet werden.

Für die jetzige Phileas-Stammachse ist auch eine Park-and-Ride-Anlage in der Nähe der A2-Querung geplant. Es werden Verhandlungen mit dem Betreiber Hermes angestrebt, der ein Parkticket anbieten soll, welches den Insassen des abgestellten Pkws freie Fahrt mit dem Phileas ermöglicht. Es sollen zunächst 250 Stellplätze hergerichtet werden.

- **Merkmale der Betriebsabwicklung**

Wie in vielen anderen niederländischen Städten auch, kommt in Eindhoven zur Steuerung und Regelung des ÖPNV das Vecom-System mit Induktionsschleifen zum Einsatz. Aufgrund der Störungsanfälligkeit und des Unterhaltungsaufwands erfolgt allerdings in Eindhoven zukünftig die kontinuierliche Standorterfassung über ein Satellitennavigationssystem. An allen Lichtsignalanlagen wird Phileas sofortiges Grün erhalten. Problematisch ist allerdings eine Bevorrechtigung im Bereich der A2-Querung, da ein Rückstau des MIV bis auf die Autobahnabfahrt zu verhindern ist. Langfristige Planungen sehen deshalb vor, in diesem Bereich ein rund 400 m langes Viadukt zu erstellen (**Bild 65 u. 66**).



**Bild 65:** Einer der verkehrsreichsten Knotenpunkte in Eindhoven ist die A2-Querung. Geplant ist ein 400 m langes Viadukt in Seitenlage über die Autobahn hinweg (im Bild rechts).



**Bild 66:** Östlich der A2-Querung knickt im Kreisverkehr der Streckenverlauf rechts nach Meerhoven ab. Eine verkehrstechnisch günstigere Eigentrasse in Seitenlage konnte aufgrund von Grunderwerbsproblemen bisher noch nicht umgesetzt werden.

Das Abstellen der Phileas-Fahrzeuge erfolgt in der vorhandenen Betriebshofanlage des Betreibers Hermes in der Nähe des Busbahnhofs Neckerspoel. Routinearbeiten werden in der dortigen Werkstatt verrichtet. Zur Instandhaltung vor allem der elektrischen und elektronischen Fahrzeugkomponenten wird eine separate Werkstatthalle vorgehalten werden müssen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist aber weder der Standort noch die Größe dieser Werkstatthalle festgelegt.

## 4.6 Clermont-Ferrand: Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen

- **Hintergrund der Transportsystemwahl**

Die letzte städtische Entwicklungsperiode ist in Clermont-Ferrand von einer starken Zersiedelung (Perurbanisation) geprägt, des Weiteren von der Entwicklung neuer Wohnviertel, aber auch von dem Niedergang industrieller Aktivitäten im Stadtkern sowie dem Aufschwung des tertiären Dienstleistungsbereichs. Heute ist die Agglomeration von einer ökonomischen Dynamik charakterisiert, die über dem nationalen Durchschnitt liegt. Die Bevölkerung hat nach den Ergebnissen der letzten Volkszählung zugenommen, und das nach einem mehrere Jahrzehnte andauernden Abwärtstrend.

Vor diesem Hintergrund wurde in dem Verkehrsentwicklungsplan (Plan de Déplacements Urbains, PDU), ausgearbeitet unter der Leitung des Aufgabenträgers SMTC (Syndicat mixte de Transport en Commun de l'Agglomération Clermontoise), die Absicht formuliert, die fortschreitende Zersiedelung zu bremsen und den Umweltverbund (zu Fuß gehen, Fahrradfahren, Bus und Bahn) zu fördern.

Der seit 1997 für Ballungsräume von mehr als 100.000 Einwohnern obligatorische PDU basiert auf dem Gesetz *Loi sur l'Air et l'Utilisation rationnelle de l'Énergie* und hat eine weitreichende Wirkung, da er von zahlreichen legislativen und finanziellen Instrumentarien begleitet wird. Er ist eingebettet in Gesetze, die die Aufgaben und Eigentumsverhältnisse der Zweckverbände und der Betreiber sowie deren Vertragsverhältnis regeln und die darüber hinaus die Kooperationen zwischen den Kommunen fördern. Der PDU der Agglomération Clermontoise sieht die Verwirklichung von zwei strukturierenden Achsen auf Eigentrassen vor, die dem ÖPNV vorbehalten sein sollen (**Abbildung 9**).

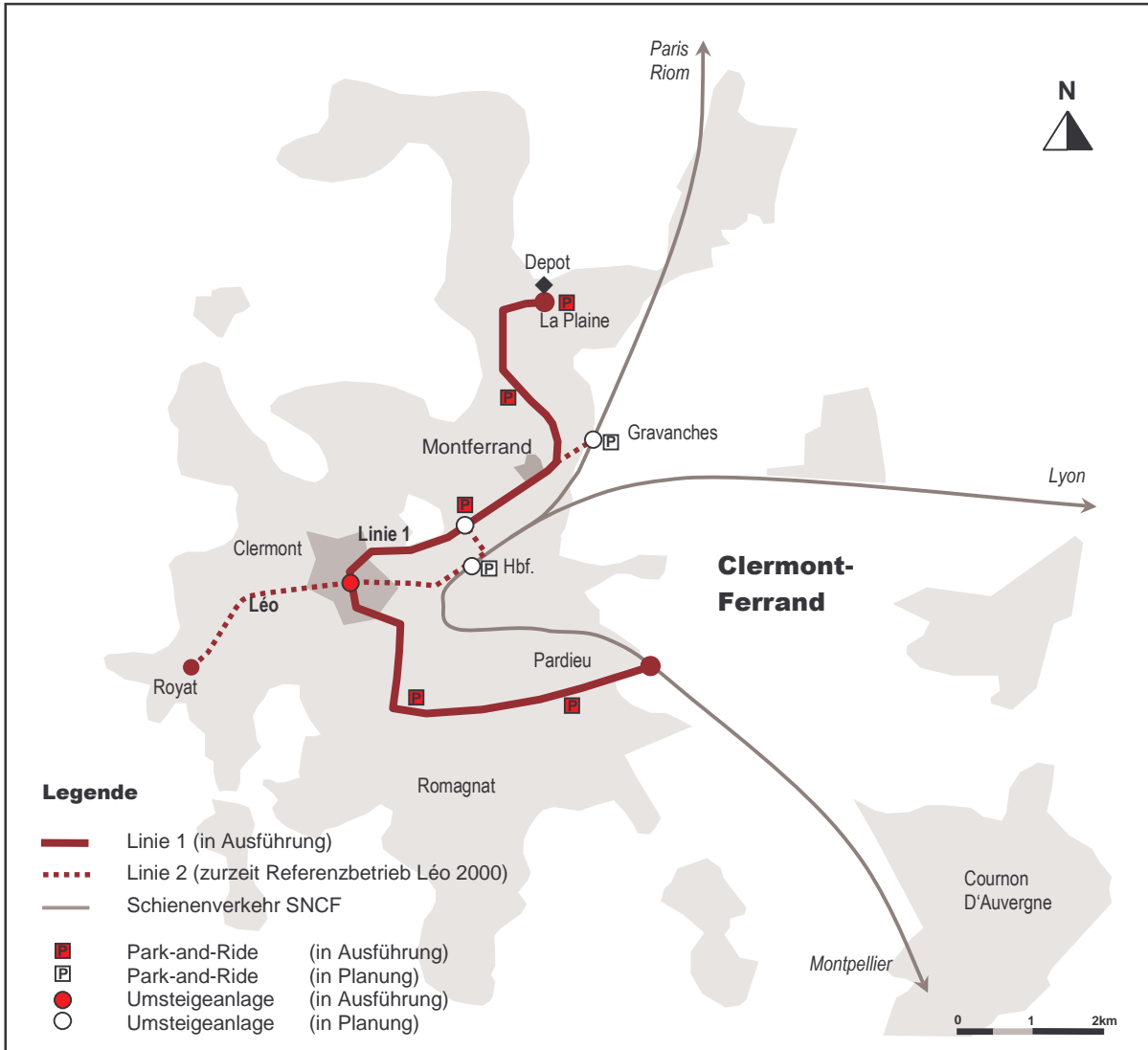


Abbildung 9: Öffentliche Transportsysteme in Clermont-Ferrand

Als Konsequenz aus einer Anfang der neunziger Jahre in Auftrag gegebenen Studie haben die örtlichen Instanzen sich hierbei für ein System Intermédiaire entschieden, also ein gummbereiftes Transportsystem. Die Entscheidung hängt vor allem damit zusammen, dass die Nahverkehrsabgabe (Versement de Transport) hauptsächlich durch den Reifenhersteller und Autozulieferer Michelin, den mit Abstand wichtigsten Arbeitgeber in Clermont-Ferrand, erbracht wird. Die Kommunalpolitik kann keine zu lebhaft Kritik an demjenigen äußern, der den öffentlichen Verkehr mit seiner Nahverkehrsabgabe maßgeblich finanziert. Mit der Gummbereifung der Transportsysteme konnte eine Lösung gefunden werden, die den verkehrstechnischen Anforderungen und dem Image des größten Steuerzahlers der Stadt gleichermaßen gerecht wird.



Bild 67: Referenzbetrieb Léo 2000: Der Place de Jaude wird gerade in West-Ost-Richtung von einem der sechs Civis-Fahrzeuge überquert.

Trotz der politischen Vorentscheidung erfolgte für die Nord-Süd-Achse eine offene Ausschreibung. Diese Ausschreibung gewann Irisbus, damals Renault V.I., mit dem Transportsystem Civis. Nach einem Einspruch von Alstom, der die Systemstraßenbahn Citadis angeboten hatte, musste



die Auftragsvergabe rückgängig gemacht werden. Nach dem Scheitern dieser ersten Pläne konnte immerhin die Versuchslinie Léo 2000 auf einer 4,2 km langen innerstädtischen Strecke in Ost-West-Richtung mit sechs angemieteten Civic-Fahrzeugen, ausgestattet mit einem optischen Fahrer-Assistenz-System, initiiert werden (**Bild 67**). Die Erprobung ist vom französischen Staat im Rahmen des Forschungsprogramms PREDIT unterstützt und von der Europäischen Kommission im Rahmen des RUBIS-Projekts bezuschusst worden.

Eine neuerliche Ausschreibung auf der Nord-Süd Achse beschränkte sich auf gummibereitete Transportsysteme mit mechanischer Spurführung. Es beteiligten sich die Hersteller Bombardier Transportation und Lohr Industrie. Unter dem Einfluss der Inbetriebnahme des GLT/TVR-Dual-Mode-Bus-Systems in Nancy, die von einer beispiellosen Pannenserie geprägt war, gab es Ende 2001 bei der Auftragsvergabe wenig Zweifel an einer Entscheidung für die Bauart Translohr. Die gummibereitete Straßenbahnlinie wird im Jahr 2005 eröffnet. Die Versuchslinie Léo 2000 soll mittelfristig zur zweiten Straßenbahnlinie entwickelt werden.

- **Linienführung**

Die geplante Straßenbahnlinie verbindet die zwei alten Stadtzentren von Clermont und Montferrand und wird zehn Buslinien, die zur Zeit auf der Nord-Süd-Achse verkehren, ersetzen. Die Gesamtlänge beträgt 14 km, wobei in einer ersten Bauphase zunächst nur 12 km der Trasse (Croix de Neyrat – Campus Universitaire) erstellt werden; der Weiterbau des südlichen Streckenastes um 2 km zu der dann ausgebauten systemverknüpfenden Umsteigeanlage La Pardieu, ist jedoch bereits beschlossen.

In den Arbeiterwohnvierteln in den nördlichen Außenbezirken soll die Strecke größtenteils auf heute vierspurigen Verkehrswegen verlaufen. In diesen Straßenzügen sollen die MIV-Spuren reduziert werden, dafür ist ein besonderer Bahnkörper in Seiten- oder Mittellage sowie attraktive Rad- und Fußwege geplant (**Bild 68**).

In der Innenstadt überquert die Linie 1 den zentralen Place de Jaude. Es ist beabsichtigt, dass der MIV auf diesem Platz stark zurückgedrängt wird und ihn nur noch in Ost-West-Richtung queren kann. Die Nord-Süd-Verbindung über Avenue des États-Unis, Place de Jaude und Rue Gonod soll dann ausschließlich von der Linie 1 befahren werden (**Bild 69 u. 70**). Im Süden der Stadt erschließt die Tramway die Cité Universitaire und das Klinikum Gabriel Montpied.

Die Tramway sur Pneus wird pro Tag bei voller Auslastung ungefähr 55.000 Fahrgäste befördern, was in etwa 40% der Reisenden des Netzes entspräche. Man erwartet zu Beginn der Betriebsaufnahme 2005 allerdings zunächst nur 1900 Fahrgäste/Richtung in der Verkehrsspitze. Es ließe sich damit ein Wert zwischen 30.000 bis 40.000 Fahrgästen/Tag bei dem Startsystem ableiten.



**Bild 68:** Auf dem nördlichen Streckenast wird eine Großsiedlung am Stadtrand erschlossen. Begrünte Eigentrasse in Seitenlage. (Vision, LOHR INDUSTRIE)



**Bild 69:** Place de Jaude: Quer zur optischen Leitmarkierung wird 2005 hinter der Statue die Linie 1 verkehren. Langfristig soll auch der Referenzbetrieb Léo 2000 durch eine zweite gummibereitete Straßenbahn ersetzt werden, so dass dann hier ein „Gleiskreuz“ entstände.



**Bild 70:** Nördlich und südlich des Place de Jaude werden solche vielbefahrenen Hauptverkehrsachsen zu Fußgängerzonen mit Straßenbahnandienung rückgebaut.



**Bild 71:** Place de Jaude im Zentrum von Clermont-Ferrand. Es wird eine umfassende Verkehrsberuhigung durchgeführt (Vision, LOHR INDUSTRIE)



**Bild 72:** Bereits vorhandene Eigen-trasse im Bereich von Montferrand



**Bild 73:** Die Nord-Süd-Achse zwischen Montferrand und Clermont (Vision, LOHR INDUSTRIE)

### • Systemkosten und Finanzierung

Die Gesamtkosten des TCSP-Projektes betragen rund 260 Mio. EUR für 14 km Eigentrasse. Diese Kosten beziehen sich auf das System, die Spurführung, die Fahrwegkonstruktion und die Instandsetzung bzw. den weitreichenden Umbau des Querschnitts des Straßenraumes (Bürgersteige, Verkehrswege, Grünanlagen, Stellplätze). Die Verträge dieses ersten Projekts einer Straßenbahn auf Gummireifen orientieren sich aufgrund der Erfahrungen in Nancy an einem Worst-case, und beinhalten von vornherein eine möglicherweise schwierige Inbetriebnahme. Die mittleren Systemkosten sind ebenfalls auf der sicheren Seite kalkuliert und liegen nur knapp unter 15 Mio. EUR/km – in dieser Höhe genauso teuer wie eine konventionelle Straßenbahntrasse.

Die Subventionen des Staates betragen 63 Mio. EUR, die Bankanleihe ist auf 130 bis 145 Mio. EUR veranschlagt, und der Eigenanteil der SMTC, finanziert aus Versement de Transport und Impôts locaux, beträgt 46 Mio. EUR. Die Kosten berücksichtigen keine ergänzenden Maßnahmen wie die Errichtung neuer Park-and-Ride-Anlagen oder die Neugestaltung des Place de Jaude (**Bild 71**). In der Summe enthalten sind allerdings die Kosten für die 23 vierteiligen Translohr-Fahrzeuge, von denen jedes 1,5 Mio. EUR kosten soll. Die städtische Aktiengesellschaft SAEM-T2C (Société Anonyme d'Économie Mixte - Transport de Commun) wird die Linie 1 in Partnerschaft mit der RATP France (betriebstechnischer Bereich) betreiben.

### • Fahrweg

Die gesamte Strecke der Straßenbahn wird auf einer Eigentrasse laufen, wobei der nördliche Teil im Bereich von Montferrand schon über eine solche für Linienbusse verfügt (**Bild 72**). Es sind verformungsresistente Asphaltstraßen mit Sonderbindemittel und Betonstraßen (Gleitschalungstechnik) geplant. Es kommen auch „Rasengleise“ zur Ausführung; deren Länge wird ungefähr 3 km betragen. Die doppelspurige Fahrwegbreite beträgt 5,50 m (**Bild 73 u. 74**).

Mit der Einführung der *Tramway Nord-Sud* soll auch das Stadtbild attraktiver und die Aufenthaltsqualität angehoben werden. Großer Wert wird auf umfassende trassenbegleitende Freiraumplanungen mit Gestaltung der Grünflächen, Straßenräume und Fassaden gelegt. Den städtebaulichen Anforderungen wird bei der Gestaltung der Trasse und der Straßenräume durch Abschnittsbildung entsprochen. Daran sind u. a. Raumplaner, Designer und vier Architekten beteiligt (je einer für den Norden, Montferrand, die Innenstadt und das Universitätsviertel; **Bild 75**).

Im Bereich der Linie 1 ist nur ein Kunstbauwerk in der Nähe des Klinikums zu erstellen, da beide Richtungshaltestellen auf der gegenüberliegenden Seite einer MIV-Magistralen liegen. Um den Weg für die Fußgänger angenehm und sicher zu machen, gleichermaßen aber auch das konfliktfreie Einbiegen der Tramway auf die Magistrale zu ermöglichen, soll der Straßenverkehr im Bereich des Knotenpunkts auf einem kurzen Stück in eine Unterführung verlegt werden.

- **Haltestellen und dynamische Fahrgastinformation**

Auf der geplanten neuen Straßenbahnlinie soll es im einheitlichen Design 30 Haltestellen geben. Diese sollen jeweils 40 m lang sein. Die Bahnsteighöhe beträgt 23 cm und ermöglicht einen höhengleichen Ein- und Ausstieg (**Bild 76**).

Die Reisenden werden mittels des Fahrgastinformationssystems SAEIV (Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information des Voyageurs) über die Ankunftszeiten von Straßenbahnen und Linienbussen informiert. Gleichermaßen werden den Disponenten der Betriebszentrale frühzeitig die Auswirkungen von Störungen auf die Betriebsabwicklung angezeigt. Mit dem ergänzenden Projekt SAPEI (Services Annexes aux Pôles d'Échanges Intermodaux) erhofft sich der Aufgabenträger SMTC, den Fahrgästen an den Verknüpfungspunkten zum SPNV alle nützlichen Informationen über die nächsten Züge und Linienbusse anbieten zu können.

- **Nachfrage aus dem Zubringerverkehr**

Die Verbindung der Straßenbahnlinie 1 mit dem Eisenbahnnetz ist in La Pardieu und dann mittelfristig in Gravauches vorgesehen. Die Umsteigehaltestellen mit dem Bus sind zahlreich: Der wichtigste Knotenpunkt ist Place de Jaude, wo die neue Straßenbahnlinie auf die Linie Léo 2000 und fünf weitere T2C-Buslinien trifft. Mit Aufnahme des Betriebes im Herbst 2005 soll das gesamte Linienbusnetz geändert werden und hauptsächlich Zubringer- und Verteilerfunktion zu der Linie 1 und der Linie Léo 2000 übernehmen.

Darüber hinaus sollen vier Park-and-Ride-Anlagen in La Plaine (100 Stellplätze), an der Kreuzung Les Pistes (300 Stellplätze), am Platz Henri Dunand (200 Stellplätze) und an der Haltestelle Flaubert im Süden (100 Stellplätze) eingerichtet werden. Die Park-and-Ride-Anlagen befinden sich damit allesamt an den Einfallstraßen. Die Parktickets sind in Frankreich üblicherweise Kombitickets, die die Pkw-Insassen zu der Weiterfahrt mit dem ÖPNV berechtigen.



**Bild 74: Straßenbahn auf Gummi-  
reifen und Rasengleis**  
(Vision, LOHR INDUSTRIE)



**Bild 75: Translohr STE 4 in Montfer-  
rand. Es erfolgt eine umfassende  
Umgestaltung des Straßenraumes.**  
(Vision, LOHR INDUSTRIE)



**Bild 76: Modell einer typischen Trans-  
lohr-Haltestelle mit höhengleichem  
Einstieg**

- **Merkmale der Betriebsabwicklung**

Im Zuge der Projektumsetzung wird eine Betriebsleitzentrale eingerichtet, wodurch die gemeinsame Überwachung sowohl des Betriebs der Straßenbahn als auch des Linienbusnetzes ermöglicht wird. An allen Lichtsignalanlagen wird für die Tramway sur Pneus eine Phase verlängert oder verkürzt, oder eine Sonderphase für die ÖPNV-Durchfahrt eingeschoben, so dass an den Lichtsignalanlagen Verlustzeiten vermieden werden können.

Der Betriebshof für die Lohr-Fahrzeuge ist unmittelbar am Ende des nördlichen Streckenastes in Clermont-Ferrand konzipiert; er wird gleichzeitig auch für die Instandhaltung der Omnibusse ausgelegt. Die Grundüberlegung für diesen kombinierten Betriebshof ist, dass die derzeit dezentral gelegenen kleineren Busbetriebshöfe zugunsten einer zentralen Buswerkstatt aufgegeben werden können. Darüber hinaus soll der Bus-/Straßenbahn-Betriebshof die Ausnutzung von Synergieeffekten ermöglichen und damit die Gesamtwirtschaftlichkeit erhöhen. Die gemeinsame Nutzung von Arbeitsständen für das Fahrfertigmachen (einschließlich der Waschstraße), die Karosseriebearbeitung, Lackiererei, Bremsenprüfstand, Ersatzteillagerung etc. trägt zur Reduzierung der Bau- und Betriebskosten bei. Gleiches gilt auch für die Leitstelle, Personalparkplätze, Sozial- und Büroräume. Kombinierte Betriebshofanlagen werden auch bei Rad/Schiene-Straßenbahnen umgesetzt.

Der Betriebshof wird vollständig mit einer Fahrleitungsanlage ausgestattet. Der Flächenbedarf konnte gering gehalten werden, da das Gleisfeld der Straßenbahn auf Gummireifen mit Halbmessern von 10,50 m hergerichtet wird. Zurzeit wird das Ergebnis eines Architekturwettbewerbs ausgewertet, der sich vor allem mit der Fassadenstruktur und den Außenanlagen beschäftigt. Das Baukosten-Budget ohne Grundstück, Nebenkosten etc. für die kombinierte Betriebshofanlage (23 Fahrzeuge, Bauart Translohr, sowie rund 80 Omnibusse) liegt bei 12 Mio. EUR.

## **4.7 Orléans: Transportsystem Straßenbahn**

- **Hintergrund der Transportsystemwahl**

Im Jahre 1995 konnte nach langer Diskussion in der Agglomération Orléanaise eine politische Übereinkunft darüber erzielt werden, dass die weitere Verkehrsentwicklung die Stärkung der Aufenthaltsqualität von Straßenräumen, die Priorität des ÖPNV gegenüber anderen Transportmitteln, die Einführung von Fahrradwegen sowie die Verbesserung des Stadtbildes und der Stadtzentren beinhalten sollte. Um diese Ziele zu er-

reichen, sah der PDU die Verwirklichung einer Straßenbahnlinie vor, die auch die Verknüpfung aller Teilverkehrssysteme in der Agglomeration erfüllen sollte (**Abbildung 10**).

1998 fiel schließlich die Entscheidung, eine Straßenbahn zu bauen. Zum einen war dieser Entschluss maßgeblich durch die beeindruckende und erfolgreiche Umsetzung unter anderem des Eurotram-Projekts in Straßburg beeinflusst, an dem Transdev als Anteilseigner der SEMTAO (Société d'Économie Mixte de Transport de l'Agglomération Orléanaise), des Betreibers des öffentlichen Nahverkehrs in Orléans, maßgeblich beteiligt war, zum anderen fiel die Entscheidung in eine Zeit, als die Bürgermeister, die ein Straßenbahn-Projekt initiiert und durchgesetzt hatten, auch allesamt wiedergewählt worden waren. Auch der Bürgermeister in Orléans unterstützte die Option einer Straßenbahn.

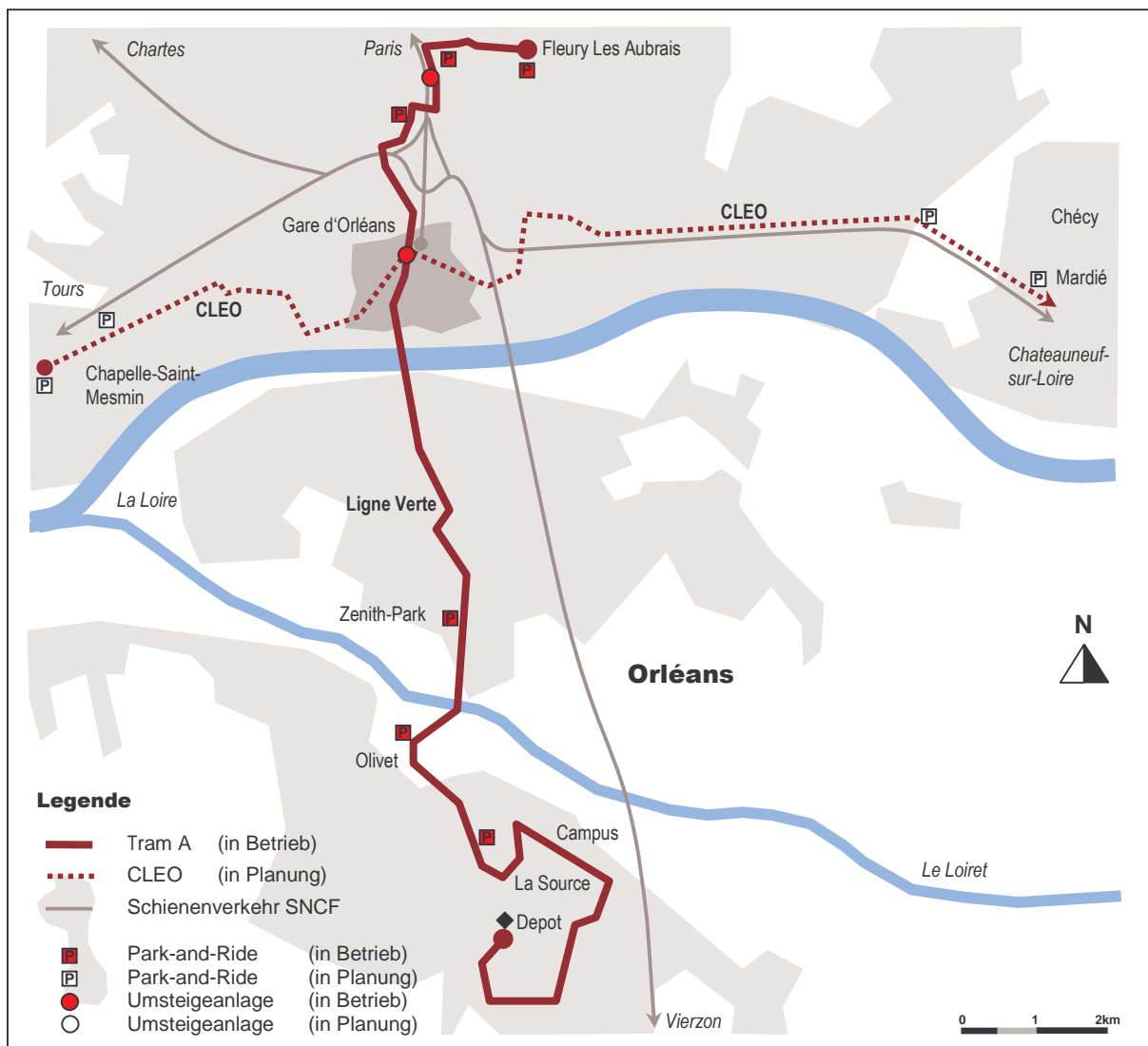


Abbildung 10: Öffentliche Transportsysteme in Orléans



Hierbei ist anzumerken, dass dem Bürgermeister nach dem französischen Kommunalrecht eine bedeutende Rolle zugesprochen wird. Im Regelfall ist er auch gleichzeitig – wie in der Agglomération Orléanaise – der Präsident des Zweckverbandes (SIVOM). Die Zweckverbände koordinieren im öffentlichen Auftrag die Organisation und Ausgestaltung des öffentlichen Nahverkehrs. Damit besitzt ein Bürgermeister in Frankreich die politische Macht, ein Nahverkehrsprojekt durchzusetzen oder zu kippen.

Übrigens wurde der Mythos der politischen Unbesiegbarkeit, der 1985 mit dem Bürgermeister und Straßenbahninitiator der Stadt Nantes begann, bei den Kommunalwahlen im März 2001 durchbrochen. Beim jüngsten Wahlgang verfehlten die Bürgermeister/innen von Rouen, Straßburg, Paris und Lyon sowie eben auch von Orléans allesamt die Wiederwahl – trotz oder gerade wegen eines ÖPNV-Projekts.

Bis 2007 soll in Orléans neben der Straßenbahnlinie eine zweite Strecke auf eigener Trasse auf der West-Ost-Achse CLEO (Concevoir la Liaison Est-Ouest) realisiert werden. Dabei gab es Überlegungen, auf eine regionale Stadtbahn (Tram-train) zu setzen, da im Westen auf Eisenbahnstrecken der SNCF zurückgegriffen werden könnte, die derzeit nur für Güterzüge genutzt werden. Nach dem politischen Machtwechsel bei der Kommunalwahl 2001 wurde die Umsetzung der Ost-West-Verbindung, so wie sie zuvor geplant war, verhindert, da die Verantwortlichen von heute gegen ein weiteres Transportsystem auf Schienen sind. Im Oktober 2002 ist schließlich die Entscheidung gefallen, eine Busbahn (Tram-bus) umzusetzen, wobei die Bauarten Civis und Phileas in den Vordergrund gestellt worden sind. Nach ersten Entwürfen wird CLEO nun eine 22,7 km lange Strecke zwischen Chapelle-Saint-Mesmin und Chécy-Mardié mit 33 Haltestellen und fünf Park-and-Ride-Anlagen bedienen.

Bei der Wahl des Transportsystems auf der CLEO-Achse spielten die Projektkosten eine entscheidende Rolle: Während der Bau einer regionalen Stadtbahn mit Projektkosten in Höhe von 324 Mio. EUR angesetzt worden ist, belaufen sich die Kosten für das Busbahn-Projekt auf 142 Mio. EUR. Nach den großen finanziellen Anstrengungen bei der Umsetzung der Linie A, aber auch angesichts der bestehenden zahlreichen sicherheitstechnischen Unstimmigkeiten mit der SNCF bei dem Tram-train-Projekt, war die Entscheidung zugunsten eines busorientierten Transportsystems abzusehen, zumal das tägliche Fahrgastaufkommen mit maximal 25.000 Fahrgästen ohne weiteres auch mit der Bustechnologie bewältigt werden kann. Eine technisch aufwändige Busbahn mit elektrischer Antriebseinheit und berührungsloser Spurregelung soll zum Einsatz kommen, damit sich der Imageverlust – schließlich wurde eine zweite Straßenbahnlinie angekündigt, aber nicht umgesetzt – in Grenzen hält.

- **Linienführung**

Im Norden erschließt die Straßenbahn-Linie A das Stadtzentrum von Fleury Les Aubrais, einschließlich des Durchgangsbahnhofs Fleury Les Aubrais und des Kopfbahnhofs Paris-Orléans. In der Innenstadt wird die Straßenbahn durch die neugestaltete Fußgängerzone geführt (**Bild 77**).

Im Süden durchquert die Linie eine Fläche der Gemeinde Olivet. Die Strecke verläuft hier in einem Gebiet, das städtebaulich noch nicht erschlossen ist. Damit übernimmt die Straßenbahn eine Rolle in der Strukturentwicklung der Agglomeration. Diese Erschließung war eine politische Entscheidung, die durch den Bürgermeister der Kommune Olivet initiiert wurde. Die Straßenbahntrasse führt schließlich über den Campus der Universität des in den sechziger Jahren neu angelegten Stadtviertels La Source. Die Linie endet vor den Türen des Klinikums (**Bild 78**). Im Jahre 2001 beförderte die Straßenbahnlinie rund 8,1 Mio. Fahrgäste; dies entspricht einem mittleren Wert von 35.000 Fahrgästen/Tag.

- **Systemkosten und Finanzierung**

Die Systemkosten der Straßenbahn betragen 305 Mio. EUR (Stand 2000). Die 22 Citadis-Fahrzeuge haben anteilig 36,2 Mio. EUR gekostet, wobei auf jedes Fahrzeug rund 1,6 Mio. EUR entfielen.

Um das Straßenbahn-Projekt umzusetzen, hat der kommunale Kooperationszusammenschluss der Region, CCAO (Communauté de Communes de l'Agglomération Orléanaise), die Versement de Transport mit 100 Mio. EUR als Finanzierungshilfe in Anspruch genommen. Des Weiteren sind Subventionen aus dem Staatshaushalt, vom Departement und von der Region in Höhe von 61 Mio. EUR bereitgestellt worden. Die Bankanleihen betragen 143 Mio. EUR. Auf die Gemeindesteuer (Impôts locaux) wurde nicht zurückgegriffen. Die Infrastrukturkosten einschließlich der Straßenraumumgestaltung variierten stark und lagen – je nachdem, ob die Trasse über Brachland oder durch einen sensiblen Innenstadtbereich führte – im Mittel zwischen 8 Mio. EUR/km und 20 Mio. EUR/km.

- **Fahrweg**

Die Gesamtstrecke der Straßenbahn verläuft auf einer rund 5,50 m breiten Eigentrasse, die sorgfältig in die städtebauliche Umgebung eingepasst worden ist. Rund 8 km der 18 km Streckenlänge sind als Rasengleis ausgeführt (**Bild 80 u. 81**). Als einziges Kunstbauwerk wurde eine Unterführung gebaut, um eine Autoschnellstraße planfrei zu kreuzen. Des Weiteren wurde die Autobrücke Pont de l'Europe mit der Eröffnung der Straßenbahn eingeweiht. Sie wurde gebaut, um das Kraftfahrzeugaufkommen auf der George-V-Brücke zu reduzieren, damit dort der Rückbau von vier auf zwei MIV-Fahrbahnen politisch durchzusetzen war (**Bild 82**).



Bild 77: Citadis-Straßenbahnzug in der umgestalteten Einkaufsstraße von Orléans



Bild 78: Das Klinikum in Orléans-La Source ist die südliche Endhaltestelle



Bild 79: Die Citadis-Fahrzeuge sind nur 2,32 m breit, eine Konzession an die zahlreichen städtebaulichen Zwangspunkte einer historischen Altstadt.



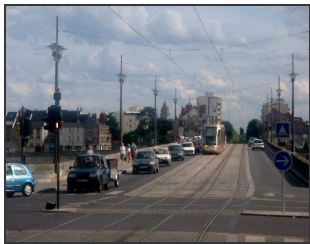
Bild 80: Unauffällige Einfachdraht-Oberleitung im historischen Bereich der Rue Royale. Die Gehwege befinden sich im Arkadenbereich.





**Bild 81:** Rasengleis in Orléans. Es wurden zahllose Büsche und Bäume entlang der Strecke der „Ligne Verte“ gepflanzt

Als Fahrwegkonstruktion finden 65 cm lange Betonfertigteile mit einem eingegossenen Winkelstahl als Zweiblockschwellen Verwendung. Der Winkelstahl erleichtert Transport und Ausrichten der Gleise vor Ort. Der Schienenfuß wird auf den Zweiblockschwellen zur Schwingungsminde- rung auf einer elastischen Zwischenlage gelagert. Der auf der durchlau- fenden massiven Ortbeton-Tragplatte ausgerichtete Gleisrost wird ab- schließend mit Füllbeton vergossen. Zuvor werden die Rillenschienen im Stegbereich mit einem Kammerfüllkörper aus Polyurethan umhüllt, um eine seitliche Schwingungsübertragung zu verhindern. Gleichzeitig wer- den so auch vagabundierende Ströme ausgeschlossen.



**Bild 82:** George-V-Brücke mit beson- derem Bahnkörper in Mittellage (BENJARI)

#### • Haltestellen und dynamische Fahrgastinformation

Entlang der neuen Straßenbahnlinie gibt es 24 Haltestellen, die 30 m lang und mindestens 2,50 m breit sind. Die Einstiegshöhe liegt bei 28 cm. Die Haltestellen sind bis ins Detail sehr hochwertig ausgeführt. Die Be- sonderheit in Orléans ist, dass jede Haltestelle an die Geschichte oder an eine Persönlichkeit der Agglomeration erinnert. Dies geschieht durch Grafiken, die als Folie an den Glasscheiben der Haltestellenhäuschen angebracht sind und jeweils ein Thema behandeln. Alle Haltestellen sind mit einer dynamischen Fahrgastinformation versehen, d. h. der Fahrgast bekommt die wirklichen Abfahrtszeiten angezeigt. Hierzu werden nutzer- geeignete Informationen des Betriebsleitsystems aufbereitet und an die Fahrgäste weitergeleitet (**Bild 83 u. 84**).



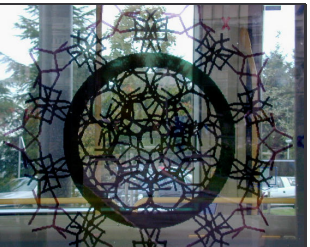
**Bild 83:** Eine der 24 Haltestellen der Li- nie 1. Alle Haltestellen sind sorgfältig mit dem städtebaulichen Umfeld abge- stimmt und treten keineswegs als Ver- kehrsanlage in den Vordergrund.

#### • Nachfrage aus dem Zubringerverkehr

Der wichtigste Knotenpunkt ist der Gare d'Orléans, wo die Straßenbahn im Busbahnhof Centre Bus auf 11 Buslinien trifft und mit dem SPNV ver- knüpft ist.

Zwischen Linienbusverkehr und Straßenbahn verfügt das ÖPNV-Netz der Agglomeration über vier größere Umsteigeanlagen: Am Nordufer sind dies Gare d'Orléans und Jules Verne, am Südufer Zénith und Victor Hu- go. Umsteigeanlagen zwischen Straßenbahn und Eisenbahn sind der Gare d'Orléans und Bahnhof Fleury les Aubrais. Ferner befindet sich eine Umsteigeanlage Straßenbahn/Regionalbus am Gare d'Orléans.

Die Anschlusslinien der Vororte (Linien 11-18 und 21-28) sorgen für den Zubringer- und Verteilerverkehr mit aufkommensstarken Buslinien oder mit der Straßenbahn. 15 Haltestellen der Straßenbahnlinie haben eine Umsteigemöglichkeit zum Linienbusverkehr (**Bild 85**).



**Bild 84:** Vielfältige Siebdrucke auf den Glasscheiben des Witterungsschutzes gehen thematisch auf örtliche Bezüge ein. Hier die Darstellung eines Gem- moleküls, biophysikalische For- schung, Haltestelle Klinikum.

Des Weiteren verfügt die Straßenbahnlinie über 6 Park-and-Ride- Anlagen, die zusammen eine Kapazität von 900 Pkw-Stellplätzen aufwei- sen. Am Nordufer sind dies: Bustière (55 Plätze) und Jules Verne (45, jeweils unbewacht) und Libération (200, bewacht). Am Südufer Zénith (200), Victor Hugo (150) und les Aulnaies (200, alle bewacht). Die An- lagen sind so errichtet, dass sie an den Einfallstraßen zur Stadtmitte lie-

gen. Damit besteht für die Bewohner der Außenkommunen eine bequeme Umsteigemöglichkeit zur Straßenbahn, zumal das Parkticket auch die kostenfreie Straßenbahnbenutzung für alle Pkw-Insassen ermöglicht.

- **Merkmale der Betriebsabwicklung**

Zur Steuerung der Betriebsabwicklung hat der Verkehrsbetreiber SEMTAO bereits 1987 das SAPHIR-System (Système d'Aide Electronique à la Préparation des Horaires, à l'Information et la Régulation du Trafic) eingeführt. Es stellt auch die Basis der Bevorrechtigung an allen Lichtsignalanlagen dar. Da sich aufgrund der Eigentrasse, die frei von externen Einflüssen ist, die Fahrzeit zwischen Anmeldepunkt und Kreuzung präzise bestimmen lässt, können die geeigneten Eingriffe in den Steuerungsprogrammen der Lichtsignalanlagen zeitverlustfrei geschaltet werden, und es kommt nicht zu auffälligen Einbußen im Bereich der MIV-Leistungsfähigkeit.

Die Betriebshofanlage der Linie 1 liegt in La Source. Der Werkstattbereich mit Arbeitsgruben und Dacharbeitsständen, Schleifeinrichtungen der Radsätze etc. sowie der Depotbereich sind aufgrund der damaligen Tram-train-Planungen auf bis zu 50 Züge ausgelegt. Darüber hinaus wurde im Freien ein Aufstellbereich angelegt, wo auf acht parallelen, je 120 m langen Gleisen insgesamt 24 Züge abgestellt werden können. Der Kostenaufwand wird mit rund 50 Mio. EUR angegeben; dies sind über 15% der Gesamtaufwendungen (**Bild 86**).



**Bild 85:** Tür-zu-Tür-Umsteigemöglichkeit zwischen der Linie A und den Anschlusslinien der Vororte (BENJARI)



**Bild 86:** Das Depot in Orléans-La Source ist auf bis zu 50 Citadis-Fahrzeuge ausgelegt.

## 4.8 Diskussion der Monographien

Man kann nach dem Studium der Monographien der Städte Utrecht, Rouen, Eindhoven, Clermont-Ferrand und Orléans nicht bestreiten, dass es in allen Städten gelungen ist bzw. gelingen wird, leistungsfähige und hochwertige Transportsysteme und ihre Eigentrasse verträglich in die Stadträume einzufügen. Und bei genauerer Kenntnis der wechselvollen und lebhaften Entstehungsgeschichte und ihrer vielschichtigen Randbedingungen verwundert es nicht, dass beispielsweise die Utrechter Stadträtin Van den Bergh in ihrer Eröffnungsansprache von Blut, Schweiß und Tränen sprach, die die Realisierung des HOV-Systems in ihrer Stadt gekostet hat.

Fürwahr, denn um in *Utrecht*, einer Stadt mit einem mittelalterlichen Ortskern, städtebaulich integrierte Eigentrasse unter gleichzeitiger Beschränkung des MIV einzuführen, mögen weniger fachspezifische Abwägungen im Vordergrund gestanden haben, als politische Auseinandersetzungen und stringentes Kostendenken. Der beschrittene verkehrsplanerische Ansatz einer ÖPNV-Trasse mit konventionellen Doppelgelenk-Fahrzeugen ist besonders unter Berücksichtigung der gesamten Netzkonzeption, die auf insgesamt vier HOV-Linien aufbaut, durchaus bemerk-

kenswert. Verkehrsmittelgerecht umgesetzt werden vor allem die sich in Bau befindlichen HOV-Trassen in den östlichen Neubaugebieten Leidse Rijn/Vleuten-De Meern, da zum einen für eine Busstraße ausreichend Verkehrsfläche vorhanden ist und zum anderen ein Fahrgastaufkommen deutlich unter 25.000 Personen pro Tag prognostiziert wird. Zu berücksichtigen ist in Utrecht auch, dass in den Spitzenstunden zahlreiche Doppelgelenker im Expressdienst eingesetzt werden. Es kommt den Doppelgelenkern hierbei zugute, dass sie einander auf der Eigentrasse an beliebiger Stelle überholen können.

In *Rouen* kann durch die sich verzweigenden Streckenäste des TEOR-Systems eine sehr gute Flächenerschließung geleistet werden, die auch die Höhenzüge der Stadt mit einschließt. Differenziert ist hier allerdings das gewählte Fahrzeug, der optisch spurgeregelte Cavis, zu betrachten. Durch das ihm vorausgehende innovative Image entschloss sich immerhin der Aufgabenträger für ein busorientiertes System und erhielt bei diesem bemerkenswerten Schritt Unterstützung aus der Politik. In der Praxis, so die Erfahrung des TCAR-Direktors Hue, gestaltet sich die Homologation der berührungsfreien Spurregelung und die Verfügbarkeit der Radnaben-Motortechnik allerdings aufreibend.

Das Phileas-Projekt in *Eindhoven* besticht durch seinen ganzheitlichen Ansatz – angefangen bei einer eigenen Fahrzeugentwicklung, durchgängigen Eigentrassen, uneingeschränkter Bevorrechtigung an Knotenpunkten, abgestimmter Flächennutzung und Siedlungsentwicklung, regionaler Wertschöpfung, geschickter Finanzierung bis hin zu mustergültiger Öffentlichkeitsarbeit mit Bürger-Workshops, Internetpräsenz sowie eigenem Phileas-Magazin etc. Das alles beeindruckt, nicht aber das Fahrgastaufkommen: Lediglich 5000 Fahrgäste pro Tag bei dem Phileas-Startersystem. Diese geringe Zahl verdeutlicht den Charakter eines bezuschussten Demonstrationsprojekts.

Das hierbei zum Einsatz kommende Fahrzeug ist zweifellos eine äußerst ehrgeizige Entwicklung. HONDIUS (2002/b) hofft für die mutigen Initiatoren, dass das Phileas-Fahrzeug nicht zu kompliziert geworden ist, dass die Kunststoffkonstruktion sich auch mit der Zeit gut hält, und dass sowohl Antrieb als auch die berührungsfreie Spurregelung verlässlich arbeiten.

Der Ansatz in *Clermont-Ferrand* zielt auf eine Reduzierung des MIV und einer Revitalisierung der Stadtstruktur. Im Mittelpunkt steht hierbei ein attraktives Straßenbahnprojekt. Zum Einsatz kommt die Bauart Translohr, innovativ durch die Wahl von gummibereiteten Fahrwerken, die an einer Monoschiene spurgeregelt werden.

Das Gesamtprojekt ist stimmig, wobei der Nachweis noch aussteht, dass sich das neuartige Fahrzeugkonzept den rauen Gegebenheiten des alltäglichen ÖPNV-Betriebs gewachsen zeigt, wenngleich man in dieser Hinsicht aufgrund der bisherigen Erprobungsergebnisse bei Lohr Industrie recht zuversichtlich ist. Dies betrifft sowohl den Antriebsbe-

reich als auch die Gelenkmodule, eingeschlossen die mechanische Spurführung. Nachteilig sind bei dem Translohr-Projekt in Clermont Ferrand die hohen Gesamtkosten. Aufgeschreckt durch die desaströsen Erfahrungen des GLT/TVR in Nancy und Caen sind zahlreiche Gewerke mit Sicherheitszuschlägen belegt worden, um möglichen Schwierigkeiten bei der Inbetriebnahme kostenneutral begegnen zu können. Ob die Straßenbahn auf Gummireifen einen Vorteil bei den Investitionskosten gegenüber der Rad/Schiene-Straßenbahn bringt, bleibt damit dem Ergebnis der Ausschreibung Ende 2003 in Toulouse (Frankreich) vorbehalten, wo Lohr Industrie erstmalig unter gleichen Randbedingungen mit Alstom, Siemens TS und Bombardier Transportation miteinander konkurrieren wird.

Die Linie A in *Orléans* ist die neu eingeführte französische Straßenbahn mit dem geringsten Fahrgastaufkommen. Das jährliche Fahrgastaufkommen in Höhe von 8,1 Mio. Reisenden (2001) zeigt, dass Orléans ein grenzwertiger Anwendungsfall für eine Straßenbahn ist. Der politische Mut, eine durchgängige Eigentrasse umsetzen zu wollen, ließ im Hinblick auf die durchquerten Straßenräume allerdings nur ein permanent geführtes System zu. Dennoch ist es vielerorts recht eng geworden, was das schließlich gewählte kleinprofilige Citadis-Fahrzeug mit der Breite von nur 2,32 m zeigt. Zu berücksichtigen ist, dass trotz des enormen Kostenaufwands die Linie A die französische Straßenbahn ist, die zu ihrer Zeit die günstigsten Baukosten pro Kilometer und mit nur 2 Jahren auch die kürzeste Bauzeit aufweist. Ferner ist sie mit 18 km das längste Startsystem. Zu erklären ist dies durch den verbindenden Streckenabschnitt durch ein dünn besiedeltes Gebiet in der Kommune Olivet.

Eines sollte bei einer städteübergreifenden Betrachtung aller Monographien abschließend herausgestellt werden: Beleuchtet man die Hintergründe, die in den untersuchten Städten den Ausschlag für die Systemwahl gegeben haben, wird offensichtlich, dass durchaus eine vorentscheidende Systemauswahl in Richtung eines Buszug-ähnlichen oder eines Straßenbahn-ähnlichen Transportsystems von politischer Seite vorgegeben wurde. Die Anwendungsbeispiele spiegeln hier einige Gründe wider: Förderprogramme, Kostenvorgaben, regionale Wertschöpfung, Wahlzusagen, bereits gescheiterte Systemimplementierungen, beschäftigungspolitische Ziele, ...

Es bleibt denn auch festzustellen, dass vor Beginn des Planungsprozesses neben die Analyse des Sachsystems „auch eine Analyse des Interessensystems“ (KIRCHHOFF, 2002, S. 39) treten sollte, da die Kenntnis der Sichtweisen und Machtverhältnisse vor Ort eine Systembewertung erleichtert. Es ist deshalb bei der Auswahl der in Frage kommenden Transportsysteme vorab objektiv zu ermitteln, wo Ansätze für einen Systemkompromiss liegen und was von vornherein unerreichbar ist. Eine ausschließlich fachbezogene Entscheidung kann bei der Wahl eines neuen Transportsystems nicht erwartet werden.

## 4.9 Gegenüberstellung der Vergleichsdaten

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Vergleichsdaten der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn der Städte Utrecht, Rouen, Eindhoven, Clermont-Ferrand und Orléans nochmals gegenübergestellt.

Stadt	Utrecht	Rouen	Eindhoven	Cler.-Ferrand	Orléans
Einwohner im Stadtgebiet	260.000	395.000	205.000	260.000	270.000
ÖPNV-Verkehrsaufkommen (Mio. Fahrgäste, Stand 2001)	33,0	34,8	14,5	25,0	18,8
Fläche des Stadtgebietes (km <sup>2</sup> )	99	287	88,3	265	335
Kurzbezeichnung Transportsystem	HOV-Ost	TEOR	Phileas	Tramway sur Pneus	Ligne Verte
Linien	11/12/12s/13	T1/T2/T3	A/B	Linie 1	Linie A
Betreiber	GVU	TCAR	Hermes	T2C	SEMTAO
Betriebsaufnahme	Sept. 02	Nov. 02	Sept. 03	Mai 05	Nov. 2000
Datensatz	Stand 2002	Prognose	Prognose	Prognose	Stand 2001
Mittleres Verkehrsaufkommen im System (Fahrgäste/Tag)	36.000	50.000	10.000	55.000	35.000
Jährliches Verkehrsaufkommen (Mio. Fahrgäste/Jahr)	10,4	15,0	3,0	16,5	8,1
Verkehrsaufkommen Spitzenstunde (Pers./h/Richtung)	3400	3200	800	2500	2000
Min. Fahrzeugfolge auf Stammachse (min)	< 2	2	5	3,5	6
Jährliche Wagenkilometer (Mio. km/Jahr)	1,2	1,6	0,5	0,9	1,2
Streckenlänge (km)	11,9	26,3	15	14	18
Linienanzahl	4	3	2	1	1
Linienlänge (km)	16,2	37,9	21	14	18
Max. Längsneigung (%)	4	10	5	9	4
Haltestellenanzahl	24	41	24	30	24
Haltestellenlänge	60	20-35	30	40	30
Haltestellenhöhe (mm)	180	270	300	230	280
Höhendifferenz (mm)	160	50	20-40	± 0	70
Spaltbreite (mm)	70-150	50-80	40-80	± 80	± 80
Querführung an Haltestellen	handgelenkt	Visée	FROG	Monoschiene	Rad/Schiene
Mittlerer Haltestellenabstand (m)	> 400	400	550	450	750
Mittlere Beförderungsgeschw. (km/h)	20	20	25	20	22
Fahrzeugtyp	Buszug	Busbahn	Busbahn	Gum.-bereifte Strab.	Straßenbahn
Fahrzeugbauart	AGG 300	Civis	Phileas	Translohr	Citadis
Fahrzeughersteller	Van Hool	Irisbus	APTS	Lohr Industrie	Alstom
Anzahl der Fahrzeuge	27	57	11/1	23	22
Fahrzeuglänge (m)	24,80	18,50	18,00/24,00	32,00	28,80
Fahrzeugbreite (m)	2,55	2,55	2,55	2,20	2,32
Max. Fahrgastkapazität (4 Pers./m <sup>2</sup> )	90+50	100+20	65+30/85+40	125+40	135+40
Betriebsform	ER	ER	ER	ZR	ZR
Doppeltraktion	nein	nein	nein	nein	nein
Fahrerarbeitsplatz	konventionell	mittig, kein Ticketverkauf	offene Fahrerkabine, nur Infos	Fahrerkabine	Fahrerkabine
Fahwegkonstruktion	Betonstraßen	Asphaltstraßen	Betonstraßen	Beton-/Asphaltstraße	Betontagplatte
Trassenbreite, v <sub>0</sub> = 50 km/h (m)	7,00	7,30	6,60	5,50	5,50
Kunstabauten	Unterführung: 1	Brückenbauwerk: 1	Über- und Unterführungen: 3 Tunnelbauwerk: 1	Unterführung: 1	Unterführung: 1 Brückenbauwerk:1
Umsteigeanlagen d. Zubringer- und Verteilerverkehrs	1	2	2	3	4
Stellplatzanzahl der Park-and-Ride-Anlagen	5000	1000	250	700	900

Tabelle 2: Vergleichsdaten von bisher projektierten und realisierten Transportsystemen zwischen Bus und Bahn



Die Werte beziehen sich vorrangig auf Prognosewerte, die nach der Fertigstellung des Gesamtsystems erwartet werden. Eine Ausnahme bilden Utrecht und Orléans, wo auf Werte aus den Jahren 2001/02 zurückgegriffen werden konnte.

#### 4.10 Merkmale der Transportsysteme

Die Untersuchung der hochwertigen Transportsysteme zwischen Bus und Bahn (**Tabelle 1**), die Gegenüberstellung der Monographien über Vergleichsdaten (**Tabelle 2**) sowie weiterführende Überlegungen liefern als Ergebnis eine ergänzende tabellarische Übersicht mit allgemeinen verkehrsplanerischen Entwurfs- und Einsatzgrößen, die in der **Tabelle 3** aufgeführt sind. Eine ähnliche Zusammenstellung verkehrsplanerischer Entwurfs- und Einsatzgrößen veröffentlichte die Light Rail Transit Consultants GmbH (1993) für Stadtbahnsysteme.

Die in der **Tabelle 3** aufgeführten Anhaltswerte für Anwendungsbereiche und Entwurfsparameter sind unterteilt in Buszug-ähnliche Systeme, die nach StVZO und BOKraft betrieben werden, und in Straßenbahn-ähnliche Systeme, die nach der BOStrab betrieben werden. Hilfreich erscheint eine solche Unterteilung insbesondere aufgrund

- der abweichenden rechtlich zulässigen Länge der Fahrzeuge (und der damit verbundenen Kapazitätsreserve),
- der verschiedenartigen Grundprinzipien der Netzformen,
- der Variationsbreite der Ausbaustandards, aber auch wegen
- der unterschiedlichen Ausbaukonzepte, die rasch zu einem hohen Verkehrswert führen sollen.

Demgegenüber hat sowohl die Buszug-ähnliche als auch die Straßenbahn-ähnliche Kategorie den hohen Anteil an Eigentrasse gemeinsam, und zwar entweder als vom Straßenverkehr völlig unabhängige Eigentrasse oder als besonderen Fahrkörper im Straßenraum.

Die Planungsbeteiligten erhalten bei der Überprüfung ihrer Planungsgrößen mit den dargestellten Entwurfs- und Einsatzparametern eine erste Vorstellung darüber, ob die bisherigen überschläglichen Entwürfe für Netz, Linienform, Verknüpfungspunkte und Betrieb weiter vertieft werden sollten bzw. ob eine detailliertere Ermittlung von Vergleichsdaten über die in Frage kommenden Transportsysteme im Rahmen der verkehrsmittelgerechten Einsatzplanung überhaupt zweckmäßig erscheint. Bekanntlich wird die sachliche Vorauswahl eines Transportsystems zwischen Bus und Bahn in erster Linie von einem Ausgangspunkt bestimmt: Die Beförderungsleistung des Transportsystems muss dem Verkehrsaufkommen entsprechen. Hier ist insbesondere das jährliche Mindestverkehrsaufkommen und die werktägliche Spitzenstunde zu beachten. Möglicherweise genügt auch ein aufgewerteter Linienbusverkehr den verkehrlichen Ansprüchen, oder aber es wäre eine Stadtbahn-Variante näher zu verfolgen.

		Betrieb nach StVZO/BOKraft	Betrieb nach BOStrab
Transportsystem zwischen Bus und Bahn		Buszug-ähnlich ←	→ Straßenbahn-ähnlich
Klassifikation des Verkehrsraumes	Abgeschätzte Einwohnerzahl im Verdichtungsraum	200.000	> 200.000
	Abgeschätztes minimales Verkehrsaufkommen im gesamten ÖPNV-Netz (Mio. Fahrgäste/Jahr)	15	> 20
	Abgeschätzte minimale Bevölkerungsdichte im Verkehrskorridor (Einw./km <sup>2</sup> )	1500-2.000	> 2.000
	Abgeschätzte zusätzliche Nachfrage aus Zubringer- und Verteilerverkehr (Fahrgäste/Wochentag)	2.500	5.000
Parameter zur Wahl des Transportsystems	Mindestverkehrsaufkommen pro Wochentag (Personen-km/Strecken-km)	1.500	2.000
	Verkehrsaufkommen in der Spitzenstunde pro Richtung (Pers./h)	700-2.200	1.100-3.200
	Maximale Beförderungskapazität (Ausnahmewert, Pers./h)	< 3.600	< 5.000
	Mittleres Verkehrsaufkommen im System (Fahrgäste/Tag)	10.000-30.000	> 30.000
	Maximales Verkehrsaufkommen im System (Fahrgäste/Tag)	60.000	90.000
	Jährliches Mindestverkehrsaufkommen (Fahrgäste/Jahr)	3.000.000	> 8.000.000
Strecke	Linienbetriebsform	Stammachse mit Verzweigungen ebenerdig	Durchmesserlinie ebenerdig
	Streckenlage in der Schwerelinie der Stadtstruktur	30% allgemeiner Verkehrsraum 70% ÖPNV-Trasse/ besondere Fahrkörper	10% allgemeiner Verkehrsraum 90% ÖPNV-Trasse/ besondere Fahrkörper
	Maximale Längsneigung (mit Gummibereifung; %)	< 13	< 13
	Fahrkörperbreite in Mittellage (m)	6,60-7,30	5,50
Stationen	Mittlerer Abstand (m)	> 400	> 400
	Haltestellenform	Haltestelleninsel oder -kap mit gerader Anfahrt	Haltestelleninsel oder Haltestellenkap
	Haltestellenlänge (m) (optional bei gekuppelten Einheiten)	< 30 (-)	> 30 (60)
	Dynamische Fahrgastinformation	ja	ja
Fahrzeuge	Betriebsform	Einrichtungsbetrieb	Zweirichtungsbetrieb
	Kupplungsfähigkeit	nein	möglich
	Fahrzeuglänge (m)	< 25	> 30
	Fahrzeugbreite (m)	2,55	2,20-2,65
	Maximale Fahrgastkapazität (4 Pers./m <sup>2</sup> )	< 140	150 ... 190
Betrieb	Mindestzugfolge (min)	10	10
	Betriebsleitsystem	ja; Fahren auf Sicht	ja; Fahren auf Sicht
	Fahrscheinerwerb außer Vorverkauf	Fahrscheinautomat	Fahrscheinautomat
	Beeinflussung Lichtsignalanlage	ja	ja
	Mittlere Beförderungsgeschwindigkeit (km/h)	20	> 20
Querführung	Spurführung/Spurregelung auf freier Strecke	hohe Spurtreue über mindestens zwei Lenkachsen	mechanische Spurführung
	Spurregelung an Zwangspunkten (Haltestellen etc.)	Fahrer-Assistenz-System oder Formstein	mechanische Spurführung

**Tabelle 3: Verkehrsplanerische Entwurfs- und Einsatzparameter eines Transportsystems zwischen Bus und Bahn**

Basierend auf der Auswertung der projektierten und realisierten Einsatzplanungen in Utrecht, Rouen, Eindhoven, Clermont-Ferrand und Orléans sollen nun nachfolgend die typischen Merkmale der hochwertigen Transportsysteme zwischen Bus und Bahn zusammenfassend als Planungsgedanken beschrieben werden:



- Ein leistungsfähiges Transportsystem zwischen Bus und Bahn wird in Verdichtungsräumen mit über 200.000 Einwohnern oder günstiger Siedlungsstruktur einer Einsatzplanung unterzogen.
- Die primäre Netzstruktur besteht im Regelfall sehr übersichtlich aus wenigen Durchmesserlinien, gegebenenfalls mit Verzweigungen in den Randgebieten und einer sich kreuzenden oder berührenden Netzverknüpfung im Zentrum (Netzhierarchisierung).
- Die Trassen werden als städtebauliche Entwicklungsachsen mit raumordnerischer Perspektive gesehen und dienen der Stadterneuerung sowie der Entwicklung von Neubautätigkeiten.
- Nachgeordnete, sekundäre Teilverkehrssysteme erfüllen meist ergänzend eine Zubringer- und Verteilfunktion und tragen damit wesentlich zur Steigerung der Effektivität des ÖPNV-Systems bei. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Systeme Quartier-, Stadt- und Regionalbus zu nennen. Park-and-Ride-Anlagen sind jeweils Bestandteil des Gesamtverkehrskonzepts.
- Die Einsatzüberlegungen basieren mindestens auf einem zehninütigen Fahrplan-Grundtakt als Regelplanung. Berücksichtigt wird hierbei, dass alle darüberliegenden Folgezeiten eine Abstimmung des häuslichen Abmarsches auf die Abfahrtszeit notwendig machen würden.
- Der Vorrangbetrieb erfolgt auf unabhängigen oder besonderen ÖPNV-Fahrwegen, so dass eine hohe Beförderungsqualität mit attraktiver Reisegeschwindigkeit („zügiges Vorankommen“) und großer Zuverlässigkeit sichergestellt ist.
- Busspuren (Sonderfahrstreifen) kommen im Gegensatz zu besonderen oder unabhängigen ÖPNV-Fahrwegen kaum zur Anwendung. Die Fahrwege sollen durch neu erstellte, verschleiß- und verformungsresistente Fahrwegkonstruktionen einen ansprechenden Beförderungskomfort bieten.
- Die Fahrweg-Deckschichten bilden bei den busorientierten Transportsystemen durch Einfärbung und Materialwahl einen Kontrast zu den Asphaltstraßen des allgemeinen Verkehrs, so dass zum einen der Wiedererkennungswert gesteigert und zum anderen der Systemcharakter des Transportsystems unterstrichen wird.
- Auch kurze Unter- oder Überführungsbauwerke werden bei den Planungen nicht gänzlich ausgeschlossen, sofern aus zwingenden Gründen auch nach heutigen städtebaulichen und verkehrlichen Maßstäben keine ebenerdige Lösung möglich ist.

- Bei den spurfreien Transportsystemen wird das zulässige Längen- und Breitenmaß weitestgehend ausgenutzt. Um eine städtebauliche Integration zu erleichtern, können die spurgeführten Transportsysteme dagegen in ihrer Fahrzeugbreite gegebenenfalls auch schmal ausgeführt werden. Eine hohe Beförderungskapazität kann dann über eine größere Fahrzeuglänge erzielt werden.
- Die fahrdynamischen Trassierungsparameter der busorientierten Transportsysteme basieren auf Komfortansprüchen der Fahrgäste. Es sind teilweise Grenzwerte (Lichtraumprofil, zulässige Längsneigung und Halbmesser) festgelegt, die zu einem späteren Zeitpunkt eine Umstellung auf einen Stadtbahnbetrieb ermöglichen. Die Perspektive einer regionalen Stadtbahn spielt bei den untersuchten Städten keine Rolle.
- Die Haltestationen sind durchgängig nach einheitlichem Standard geplant und sind als Bestandteil eines Niederflurverkehrssystems durch die Verwendung von Haltestelleninseln oder Haltestellenkaps gekennzeichnet, die nahezu *geradlinig* angefahren werden. Eine dynamische Fahrgastinformation wird als Standard angesehen.
- Zur Reduzierung der Abfertigungszeit an Haltestellen werden Fahr-scheinautomaten an Haltestellen oder im Fahrzeug aufgestellt. Der Fahrer steht nur bei Sonderfragen zur Verfügung.
- Die eingesetzten Fahrzeuge fahren auf Sicht, die Lichtsignalbeeinflussung und Betriebssteuerung erfolgt über ein RBL-System (Rechnergestütztes Betriebsleitsystem). Es wird an den LSA die Wartezeit „Null“ umgesetzt.
- Eine zeitgemäße Fahrgastbedienung im Zusammenspiel mit einem attraktiven Verkehrsangebot, eingebettet in moderne Marketingkampagnen, etabliert das Transportsystem als vorrangigen Partner im Umweltverbund innerhalb eines weitreichenden städtischen Mobilitätskonzepts.

# 5 Entwicklung eines Planungsleitfadens

## 5.1 Problemstellung

Die technische Untersuchung und die Gegenüberstellung in dem Kapitel 3 ermöglichen zunächst eine übersichtliche Klassifizierung der *marktreifen* Transportsysteme und die Rückführung der vielfältigen Bauarten auf die Fahrzeugtypen Buszug, Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn sowie die dazugehörigen fahrwegspezifischen Betriebsanlagen (**Abbildung 4**).

In Kapitel 4 sind nun anhand der untersuchten Städte allgemeine verkehrsplanerische Entwurfs- und Einsatzparameter aufgestellt, so dass leicht erkennbar wird, ob ein zugrundegelegter Verkehrsraum überhaupt prinzipiell für Transportsysteme zwischen Bus und Bahn geeignet ist (**Tabelle 3**). Die Anzahl der infrage kommenden Transportsysteme kann damit weiter reduziert werden, und es verbleiben nur noch *projektgeeignete* Transportsysteme in der Vorauswahl.

Die Kapitel helfen jedoch bei der Feststellung der Eignungsfähigkeit vor dem Hintergrund eines konkreten Betriebsprogramms sowie eines konkreten Straßenraumes nicht entscheidend weiter. Die Auswahl eines *zielgerechten* Transportsystems, welches die gesteckten Ziele nach Auffassung der Planungsbeteiligten und der politischen Mandatsträger bestmöglich erfüllt, ist damit zwar eingegrenzt, dennoch stellt sich die Entscheidung nach wie vor sehr vielgestaltig dar. Für die Lösung dieses Problems soll nun eine konzeptionelle Entwurfs- und Entscheidungshilfe entwickelt werden, die für alle Planungsbeteiligten einfach nachvollziehbar ist, wobei insbesondere bestehende Vorteile und Risiken der vielschichtigen Interessenabwägungen erläutert werden sollen. Dazu soll nachstehend ein Leitfaden erarbeitet werden, der

- eine ausgewogene Betrachtung vor allem der betrieblichen und städtebaulichen Belange bei der Auswahl eines (unkonventionellen) Transportsystems berücksichtigt,
- auf den jeweiligen ortsspezifischen Kontext einer konkreten Planungssituation übertragbar bleibt und
- Sicherheit bei dem Prozess der Eignungsfeststellung gibt.

## 5.2 Übergeordnete Bewertungsebenen

Die Ermittlung eines zielgerechten Transportsystems zwischen Bus und Bahn orientiert sich schwerpunktmäßig an einer Untersuchung der nachstehenden, übergeordneten Bewertungsebenen:

- Systemspezifische Eigenschaften
- Betriebstechnische Anforderungen
- Städtebauliche Eignung
- Wirtschaftliche Auswirkungen

Die *systemspezifische Bewertungsebene* ist fahrweg- und fahrzeugtypbezogen und vollständig unabhängig von einer konkreten Anwendung. Sie dient in erster Linie dazu, allgemein übertragbare Vor- und Nachteile der Transportsysteme herauszuarbeiten.

Die *betriebstechnischen und städtebaulichen Bewertungsebenen* erlauben demgegenüber nur in Abhängigkeit von dem konkreten Planungsauftrag eine Aussage darüber, in welchem Maße das Transportsystem geeignet ist. Diese Aussage ist von relativer Natur und vor allem in Abhängigkeit

- von der gesamtgemeindlichen Zielsetzung der Einsatzplanung und
- von dem für den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Trasse prognostizierten Betriebsprogramm zu sehen.

Die Ergebnisse einer betriebstechnischen und städtebaulichen Bewertung fallen demnach in jeder Stadt anders aus. Es steht bei diesen Kriterien die ortsspezifische Planungssituation im Bereich der Trassierung im Vordergrund, deren Beurteilung eine genaue Kenntnis der bestehenden Verhältnisse erfordert.

Abschließend sind die *wirtschaftlichen Auswirkungen* in Erfahrung zu bringen. Hierzu sind als Hilfestellung in den Anlagenbänden Kostenabschätzungen angegeben, die vor allem die neuartigen Fahrzeugkomponenten und ihre dazugehörigen Fahrwegkonstruktionen im Blickpunkt haben.

## 5.3 Zielfelder

Den Bewertungsebenen werden nun Zielfelder zugeordnet, die geeignet erscheinen, charakteristische und objektive Unterscheidungsmerkmale der unkonventionellen Transportsysteme zwischen Bus und Bahn zu liefern. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass eine Gewichtung der Zielfelder nicht vorab mit Alleingültigkeitsanspruch erstellt werden kann, da die speziellen Verhältnisse im Bereich der verkehrlichen, betrieblichen, städtebaulichen und kostenverursachenden Gegebenheiten des Einsatzgebiets in der Gewichtungsstruktur zum Ausdruck kommen müssen. Genauso bedeutsam ist es auch, den speziellen Vorstellungen aller Planungsbeteiligten hinsichtlich der gewünschten „Systemqualität“ gerecht

zu werden. Hier sind politische Entscheidungen zu treffen, die in der Regel nur problemorientiert für ein konkretes Projekt erfolgen können.

Es sind Argumentationen der Hersteller, Erkenntnisse aus der Betrachtung der untersuchten Städte sowie zahlreiche Anmerkungen von Fachplanern aufgenommen worden. Bei detaillierten Einsatzstudien u. a. in Aachen, Bremerhaven, Hamburg und Dresden konnten schließlich in Diskussionen mit den Kommunen und Verkehrsbetreibern die Aspekte der nachfolgend vorgestellten Strukturierungshilfe überprüft werden. Es konnten folgende aussagekräftige Zielfelder abgeleitet werden:

**Bewertungsebene:      Systemspezifische Eigenschaften**

- Zielfelder:
- Umfeldverträglichkeit
  - Barrierefreier Zugang
  - Hoher Beförderungskomfort
  - Gelungene Außenwirkung

**Bewertungsebene:      Betriebstechnische Anforderungen**

- Zielfelder:
- Zuverlässige Betriebsabwicklung
  - Reaktionsschnelle Betriebsabwicklung
  - Arbeitserleichterungen des Personals
  - Betriebliche Kontinuität
  - Bedarfsgerechtes Verkehrsangebot

**Bewertungsebene:      Städtebauliche Eignung:**

- Zielfelder:
- Straßenräumliche Integration
  - Stadtgestalterische Qualität
  - Stadtverträgliche Bauabwicklung

**Bewertungsebene:      Wirtschaftliche Auswirkungen**

- Zielfelder:
- Niedrige Planungs- und Abstimmungskosten
  - Finanzierungsvorleistung
  - Angemessene Investitionskosten
  - Kalkulierbare Fahrzeugbetriebs- und Instandhaltungskosten

Die o. g. Bewertungsebenen erlauben für sich betrachtet freilich keine Aussage darüber, ob die untersuchten Alternativen überhaupt für eine bestimmte Aufgabe geeignet sind. Stattdessen ist nur ein Urteil über die relative Vorteilhaftigkeit bzw. den Grad der Eignungsfähigkeit für einen konkreten Verkehrsraum möglich.

Unberücksichtigt bei der Gegenüberstellung bleiben Bewertungsebenen und Zielfelder, die bei allen Transportsystemen gleichgesetzt werden könnten und folglich bei der Beurteilung keine Hilfe darstellen:

- So können beispielsweise in diesem Zusammenhang insbesondere verkehrliche Aspekte bei der Auswahl der Zielfelder unberücksichtigt bleiben, da bei allen Transportsystemen eine annähernd gleiche Beförderungsgeschwindigkeit angesetzt wird, deren Umsetzung vorrangig von herkömmlichen ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen, der Haltezeit und dem Haltestellenabstand abhängt.
- Da die Durchsetzung der Beschleunigungsmaßnahmen im verkehrspolitischen Bereich entschieden wird, ist das Bewertungskriterium *Beförderungsgeschwindigkeit* unabhängig vom jeweiligen Transportsystem zu sehen. An die Beförderungsgeschwindigkeit sind gleichermaßen Bewertungskriterien wie *Reisezeit*, *Pünktlichkeit*, *Zuverlässigkeit* etc. geknüpft.
- Auch die *Verkehrsqualität an Knotenpunkten* kann gleichgesetzt werden, da für sehr lange Nahverkehrsmittel entsprechend den Vorgaben der RiLSA (Richtlinien für Lichtsignalanlagen) bei der Ermittlung der Zwischenzeiten mit einer einheitlichen fiktiven Fahrzeuglänge zu rechnen ist. Durch die annähernd gleiche Beförderungskapazität und die damit verknüpfte annähernd gleiche Bedienungshäufigkeit ist auch bei der Querungshäufigkeit eines Knotenpunktes (und der damit verbundenen Anforderung einer Sonderphase) kein Unterschied festzustellen.
- Des Weiteren bleiben auch Bewertungskriterien, die die Leistungsmerkmale des allgemeinen ÖPNV widerspiegeln – wie beispielsweise *Freundlichkeit der Mitarbeiter*, *Sicherheit vor Belästigungen*, *Sauberkeit und Gepflegtheit der Fahrzeuge und der Haltestelle*, *Information der Fahrgäste*, *Anschlüsse*, ... – unberücksichtigt. Hier ist der Betreiber gefordert, aus dem Blickwinkel von Kunden und Öffentlichkeit für gute Ergebnisse zu sorgen.
- Auch der *Fahrpreis* ist in diesem Zusammenhang deshalb kein Bewertungskriterium, da er unabhängig vom Transportsystem tariflichen Verbundstrukturen unterliegt. Damit entfällt auch der Einnahmeaspekt des Fahrpreises.
- Das *Nachfragepotential* wird sich bei den Transportsystemen unter gleichen Randbedingungen (Verkehrsangebot, Systempräsenz, Art und Ausstattung der Infrastruktur und der Fahrzeuge, Marketing, Serviceorientierung, Fahrgastinformation etc.) ebenfalls nicht signifikant unterscheiden, wie Untersuchungen über Bus- und Schienenstrecken von MEGEL (2001) und KASCH/VOGTS (2002) zeigen. Nicht quantifizierbare Kriterien wie beispielsweise die subjektive Sicherheit im Fahrzeug oder die „Präsenz im Kopf“ (MEGEL 2001) liefern demnach günstigstenfalls marginale Verbesserungen bei der Kundenakzeptanz.



- Das Bewertungskriterium *Technische Sicherheit* bleibt unberücksichtigt, weil davon auszugehen ist, dass ein System technisch sicher ist, sobald es seitens der technischen Aufsichtsbehörden für den Fahrgastbetrieb zugelassen wird.

## 5.4 Systemspezifische Eigenschaften

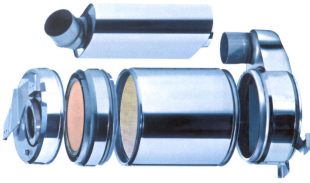
Die den Zielfeldern zurechenbaren Bewertungskriterien und deren mögliche Beschreibungsgrößen sind in der **Tabelle 4** aufgeführt. Die system-spezifischen Eigenschaften der untersuchten Transportsysteme unterscheiden sich im Bereich der Emissionsbelastung, der Ein- und Ausstiegssituation, des Fahrgefühls sowie des Images.

Bewertungsebene	Zielfeld	Bewertungskriterium	Beschreibungsgrößen
 Systemspezifische Eigenschaften	Umfeldverträglichkeit	Geringe Emissionsbelastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokale Abgasentwicklung</li> <li>• Erschütterungen</li> <li>• Lärmbelästigung</li> <li>• Brennstoffzellen-Option</li> </ul>
	Barrierefreier Zugang	Bequemer und rascher Ein- und Ausstiegsvorgang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveaudifferenz</li> <li>• Beständigkeit der Spaltbreite</li> <li>• Fahrzeugpodeste</li> </ul>
	Hoher Beförderungskomfort	Fahrgefühl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anfahr- und Bremsverhalten</li> <li>• Zunahme der Seitenbeschleunigung (Fahrwegtrassierung)</li> <li>• Laufruhe</li> <li>• Fahrmotor-, Getriebe-, Elektronik- sowie Abrollgeräusche</li> </ul>
	Gelungene Außenwirkung	Image	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische Innovation</li> <li>• Emotional Design</li> <li>• Marketingpotential</li> </ul>

Tabelle 4: Systemspezifische Eigenschaften mit Beschreibungsgrößen

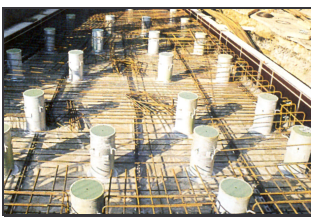
### • Geringe Emissionsbelastung

Bei der Spezifizierung des Transportsystems haben die verkehrspolitischen Gremien die Möglichkeit, mit emissionsrelevanten Entwurfsvorgaben (Abgasentwicklung, Erschütterungen und Lärmbelästigung) eine Auswahl maßgeblicher Fahrzeugkomponenten vorzugeben, um die Umfeldqualität günstig zu beeinflussen. Ein Beispiel: Eine richtungsweisende Entscheidung ist darüber zu treffen, in welchem Maße die Emissionsarmut des Transportsystems gefördert werden soll. Der Forderung nach einem elektrischen Antrieb beispielsweise lässt sich systemübergreifend sowohl mit einem elektrischen Straßenbahnsystem als auch mit einem elektrischen Busverkehrssystem nachkommen. Eine Entscheidung an dieser Stelle betrifft demnach nicht ein bestimmtes Transportsystem, sondern Emissionsgrenzwerte und daraus abgeleitet die Systemkomponente Antrieb des Verkehrsmittels.



**Bild 87:** Abgasnachbehandlung mit einem modularen CRT-System. Europaweit befinden sich bereits über 20.000 solcher Systeme im Einsatz. (HJS)

Bei der *lokalen Abgasentwicklung* kann festgestellt werden, dass das Transportsystem Buszug mit Verbrennungsmotor dank motorischer Maßnahmen, Abgasnachbehandlungssystem und schadstoffarmem Kraftstoff im Vergleich zum Elektromotor deutlich aufgeholt hat, gerade auch unter Beachtung des Energiebereitstellungspfades. Die Abgaswerte eines Verbrennungsmotors nach Euro-4 mit Abgasnachbehandlung haben sich stark einem emissionsfreien Betrieb angenähert (**Bild 87**). Dies gilt auch für den diesel-elektrischen Antrieb mit Abgasnachbehandlung (Transportsystem Busbahn). Die elektrischen Transportsysteme Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn verursachen im Gegensatz dazu aufgrund der externen Energieversorgung keine *lokale* Abgasemission.



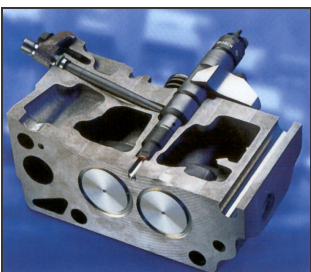
**Bild 88:** Punktförmige Lagerung mit Federtöpfen bei höchsten Anforderungen an den Erschütterungsschutz im Bereich einer Weiche (VDV)

Bei den *Erschütterungen* steht die Rad/Schiene-Technik in der Kritik: Neben glatten Rad- und Schienenaufläufen, durchgehend geschweißten Schienen und dem Vermeiden von Herzstücklücken müssen innerstädtisch spezielle Oberbauformen eingesetzt werden, welche eine schwingungsmindernde Wirkung haben, ohne dass sich die Verstärkungen im Eigenfrequenzbereich negativ auf die Immissionen in den benachbarten Gebäuden auswirken (**Bild 88 u. 89**). Gummibereifte Transportsysteme auf ebenen und störstellenfreien Fahrwegen verursachen aufgrund guter Federungs- und Dämpfungseigenschaften keinerlei Erschütterungen.



**Bild 89:** Schwingungsmindernde Oberbauformen erhöhen zwar die Herstellungskosten, sie erhöhen aber auch die Akzeptanz seitens der Anlieger. Betontragplatte, Zweiblockschiene sowie Kammerfüllsteine aus Gummigranulat.

Bei der *Lärmbelästigung* von Anwohnern und Straßenraumnutzern stellt ein verbrennungsmotorischer Antrieb die maßgebliche Emissionsquelle dar. Der Wunsch nach einem völligen Ausschalten der motorischen Lärmbelästigung würde dazu führen, dass alle Transportsysteme, also auch Buszug und Busbahn, mit einem elektrischen Antrieb (Stromversorgung über eine Fahrdrahtanlage) auszustatten wären. Moderne motorische Maßnahmen (vor allem Common-Rail-Motortechnik) und eine vollständige Motorkapselung können die Geräuschbelastung des Diesellagers zukünftig aber immerhin auf das Niveau eines Erdgasmotors senken und dieses sogar unterschreiten (**Bild 90**).



**Bild 90:** Zweite Generation des Common-Rail-Systems von Bosch für schwere Nutzfahrzeuge. Entsprechende Motorbaureihen versprechen auch bei der Bustechnologie eine Verringerung der Geräuschemission um rund 3 dB (A). (Bosch)

Bei dem Transportsystem Straßenbahn kommt es auch zu Lärmbelästigungen, allerdings weniger durch den elektrischen Antrieb als durch die Rad/Schiene-Technik. Es sind umfangreiche Maßnahmen zur Minderung der Rollgeräusche erforderlich (Erhaltung glatter Schienen- und Radlaufflächen, Spurkranzschmierung, Schürzen, Resonanzabsorber an den Radreifen etc.; **Bild 91**).

Auch die *Brennstoffzellen-Option* kann bei der Unterscheidung der Transportsysteme auf längere Sicht eine Rolle spielen. Zur Zeit werden zahlreiche Brennstoffzellenprojekte forciert, da neben der unbegrenzten Verfügbarkeit des Energieträgers Wasserstoff – im Gegensatz zu den

fossilen Brennstoffen – die Problematik der Verkehrsimmissionen im Bereich Abgasentwicklung und Lärmbelastigung mit Brennstoffzellen-Fahrzeugen bestmöglich gelöst werden kann. Obwohl die Serienreife aller Komponenten des Antriebs bei weitem noch nicht bestätigt wurde, stellt sich mit Blick auf die fernere Zukunft die Frage, welches der Transportsysteme technisch und wirtschaftlich besonders für einen Brennstoffzellenbetrieb mit Energiemanagement geeignet ist.

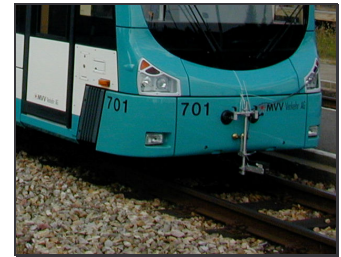
Der elektrische Antriebsstrang der Brennstoffzellen-Technologie unterscheidet sich bei allen Transportsystemen nicht von der Ausrüstung, die auch bei einem Fahrbetrieb unter Oberleitung vorzuhalten wäre. Eine optionale Eignungsfähigkeit ist damit allen Transportsystemen zuzusprechen. Im Vorteil sind aber zunächst die Transportsysteme, die aufgrund einer geringen Fahrzeugmasse mit kleineren Brennstoffzelleneinheiten auskämen. Aus diesem Grund ist die Omnibus-Technologie vorteilhaft, auch deshalb, weil durch die Gummireifen der Emissionsbereich Erschütterungen umgangen wird. Damit wäre bei leichten, gummibereiften Fahrzeugen ein Betrieb ohne jegliche Emissionen möglich, der auch einer globalen Betrachtungsweise standhielte, sofern der Wasserstoff vor Ort komplett aus regenerativer Energie hergestellt würde (**Bild 92**).

Besonders das Transportsystem Busbahn ist durch die Anordnung eines Power-Packs bereits im jetzigen Stadium für die Aufnahme eines Brennstoffzellenantriebs geeignet; Pläne für den Einsatz einer Brennstoffzelle gibt es auch bei dem Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen. Bei dem Transportsystem Straßenbahn ist dagegen noch kein Erprobungsfall bekannt.

Bei den fahrleitungsgespeisten Transportsystemen würde bei einer späteren Umstellung auf die Brennstoffzellentechnologie die Fahrdrahtanlage überflüssig, weshalb in finanzieller Hinsicht ein schadstoffreduzierter Dieselantrieb (Transportsystem Buszug und Busbahn) vorerst eine annehmbare Übergangslösung auf dem Weg zu einem wasserstoffbetriebenen ÖPNV-Fahrzeug darstellen könnte. Vorerst kommt jedoch nur ein Erprobungsbetrieb mit Einzelfahrzeugen bei entsprechender Förderung innerhalb von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in Frage.

- **Bequemer und rascher Ein- und Ausstiegsvorgang**

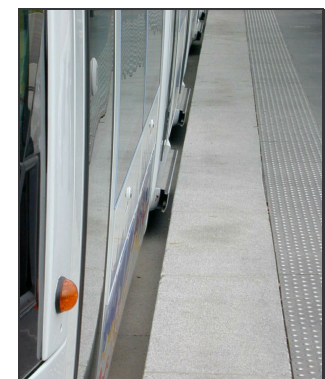
Aus Komfort- und Sicherheitsgründen ist eine gute Zugänglichkeit öffentlicher Transportsysteme zu gewährleisten. Abhängig ist die Zugänglichkeit der Fahrzeuge von der Höhendifferenz zwischen Haltestellenplattform und Fahrzeugboden, von der Breite des Spalts zwischen Fahrzeug und Haltestelle sowie von dem bequemen Erreichen des Sitzplatzes. Ein barrierefreier Zugang ist vor allem für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste unabdingbar. Der Betreiber ist an einem höhengleichen Einstieg interessiert, da so die Fahrgastwechselzeiten verkürzt werden (**Bild 93**).



**Bild 91:** Bei der Inbetriebnahme eines Schienenfahrzeuges werden die Betreibervorgaben hinsichtlich des direkten Luftschalls überprüft. Strengere Vorgaben wären auch bei der Bustechnologie wünschenswert.



**Bild 92:** Erstes deutsches ÖPNV-Brennstoffzellenfahrzeug Nebus im Fahrgastprobetrieb u. a. bei der Hamburger Hochbahn (EVObus)



**Bild 93:** Citadis-Fahrzeug mit höhengleichen und spaltfreiem Ein- und Ausstieg. Es kommen Drehkipfstufen zum Einsatz.





**Bild 94:** Geradlinige Anfahrt, Leitmarkierung in der Flucht des Fahrers, Formstein als Anfahrhilfe. Eine geringe Spaltbreite lässt sich auch bei handgelenkten Fahrzeugen verwirklichen.



Die *Höhendifferenz* beim Ein- und Ausstieg ist bei allen Transportsystemen von fahrzeugbezogenen, variablen Faktoren abhängig, wie z. B. dem Besetzungsgrad des Fahrzeugs, dem Grad der Abnutzung der Radreifen bzw. Reifenluftdruck, Herstellungstoleranzen, Fahrzeugfederung etc. Aus diesem Grunde können im Praxiseinsatz allgemein nur bedingt Optimalwerte erreicht werden.

Die Höhe von oberirdischen Haltestellenplattformen ist aus städtebaulichen Gründen begrenzt und wird von den einzelnen Städten unterschiedlich festgelegt. Behindertengerechte Haltestellen für Niederflur-Schienenfahrzeuge weisen in der Regel eine Plattformhöhe von 250 bis 350 mm über Schienenoberkante auf (VDV 2000, S. 176). Ein Überstreichen der Haltestellenplattform mit dem Wagenkasten ist bei dieser Höhe bei allen Transportsystemen nicht möglich. Bei der Planung der Trasse muss dieser Sachverhalt Berücksichtigung finden, und es sind folglich Haltestellen in Kurven zu vermeiden.

Bei Bedarf können die Fahrzeugtypen der Transportsysteme Buszug und Busbahn durch Anwendung der Kneeling-Technik auf eine Fahrzeugbodenhöhe im Einstiegsbereich von rund 280 mm abgesenkt werden. Die konstruktive Fahrzeugbodenhöhe beträgt bei diesen Fahrzeugtypen in der Regel 360 mm. Die Fußbodenhöhe des Fahrzeugtyps Straßenbahn liegt indessen im abgeschrägten Einstiegsbereich bei rund 300 mm. Der Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen weist keinen abgeschrägten, sondern einen durchgängig horizontalen Einstiegsbereich mit einer Höhe von rund 250 mm auf.



**Bild 95a:** Fahrzeugtyp Buszug, Bauart Van Hool, mit Podesten vor der angetriebenen Achse zur Unterbringung des Gelenkwellenstranges (rechts). Wagenteil 2 und 3 sind niederflurig. (HONDIUS)

Bei der *Spaltbreite* zwischen Fahrzeug und Haltestelle lassen sich mit den verfügbaren Spur- und Querführungssystemen annähernd gleiche Werte erreichen, die sich in einem für den Fahrgast nur unwesentlichen Maß unterscheiden (40 - 80 mm). Bei der Anwendung handgelenkter Buszüge lässt sich eine geringe Spaltbreite ebenfalls erreichen, wenn ein abgerundeter Profilstein mit Selbstlenkungseffekt, z. B. Kassler Sonderbord, und eine verformungsarme Fahrbahn im Haltestellenbereich zum Einsatz kommen. Zur Differenzierung der Systeme ist hingegen die Beständigkeit der Spaltbreite von Interesse. Während bei einer automatischen Querführung der Mindestabstand immer eingehalten wird, ist die Spaltbreite bei handgelenkten Buszügen abhängig vom Einfluss des Fahrers. Geschulte Fahrer sind aber ohne Weiteres in der Lage, die Haltestellen spaltarm anzufahren, sofern eine geradlinige Anfahrt bei der Planung der Haltestelle berücksichtigt worden ist und gegen Falschparker vorgegangen wird (**Bild 94**).



**Bild 95b:** Fahrzeugtyp Busbahn, Bauart Phileas, alle Wagenteile sind niederflurig ausgebildet. Blick auf die Rückwand der Fahrgastzelle, hinter der die Antriebseinheit stehend angeordnet ist. Die Leistungsübertragung erfolgt mechanisch entkoppelt „per Stromkabel“.

Niedrige oder gar keine *Fahrzeugpodeste* sind fahrgastfreundliche Lösungen und werden bei allen Fahrzeugtypen der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn weitgehend umgesetzt. Bei dem Fahrzeugtyp Buszug bleiben im Bereich der Antriebseinheit Fahrzeugpodeste unver-

meidbar, um Gelenkwelle und Hilfsaggregate unterzubringen. Dagegen kann der Bereich der Fahrgastzelle bei den Fahrzeugtypen Busbahn und der Straßenbahn auf Gummireifen ohne Podeste konstruiert werden. Bei dem Fahrzeugtyp Straßenbahn können bei den 30-m-Fahrzeugeinheiten die angetriebenen Fahrwerke als Drehgestell mit durchgehender Radsatzwelle ausgebildet werden. Die Achsen können deshalb mittels profiliertem Radlaufflächen hin und her pendeln (Sinuslauf), ohne möglichst gegen die Schienenflanken anzulaufen, was der Laufruhe und der Verschleißreduzierung zugute kommt. Es entstehen aber im Gegensatz zu Losrad-Konstruktionen an den beiden Fahrzeugenden so genannte „Reiseabteile“, die nur über eine Stufe zu erreichen sind (**Bild 95 a-e**).

#### • Fahrgefühl

Beschreibungsgrößen für das Bewertungskriterium Fahrgefühl sind die Zunahme der Seitenbeschleunigung, Anfahr- und Bremsverhalten, Laufruhe sowie Maschinen-, Getriebe-, Elektronik- und Abrollgeräusche.

*Seitenbeschleunigungskräfte*, die fahrkomfortmindernd auf die Reisenden wirken können, entstehen beim Durchfahren von Kurven. Insbesondere bei einem eigenen Fahrweg ist eine Überhöhung bzw. Querneigung zur Begrenzung der Seitenbeschleunigung unerlässlich. Die Seitenbeschleunigung eines Fahrzeugs ist darüber hinaus abhängig von der Wahl der Trassierungselemente, den Zwangspunkten im Bereich von Knotenpunkten und dem Fahrverhalten des Fahrers (Geschwindigkeit, ferner bei handgelenkten Fahrzeugen die gewählte Fahrlinie). Gerade bei einer neuen Fahrwegplanung ist dafür Sorge zu tragen, dass zwischen den Trassierungselementen Kreis und Gerade und umgekehrt eine Klothoide eingerechnet wird, um einen nur allmählichen Anstieg der Seitenbeschleunigung zu gewährleisten (**Bild 96**). Bei straßenräumlich beengter Kreisfahrt ohne Klothoiden kann bei allen Transportsystemen ein Seitenbeschleunigungsruck – beispielweise durch das Anordnen einer Langsamfahrstelle oder einer Haltestelle vor bzw. nach der Kreisfahrt – verhindert werden. Da die handgelenkten Transportsysteme Buszug und Busbahn zumindest in den baulichen Übergangsphasen auch auf Streckenabschnitten ohne abgestimmte Trassierungselemente eingesetzt werden, kommt dem rücksichtsvollen Fahrverhalten des Fahrers eine weitaus größere Bedeutung zu.

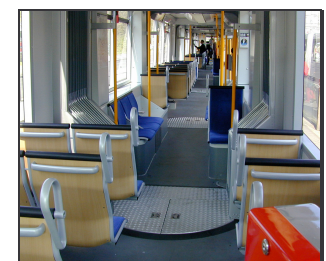
Eine ruckfreie *Längsbeschleunigung* trägt zu einem hohen Beförderungskomfort bei, wobei insbesondere elektrische Antriebe eine stufenlose Steigerung der Geschwindigkeit ohne Wandlungseinrichtung und damit eine ruckfreie Beschleunigung ermöglichen. Durch Schaltvorgänge, die bei Verbrennungsmotoren nötig sind, um die unterschiedlichen Kennfelder des Motors und des Fahrzeugs einander anzupassen, entstehen dagegen Unregelmäßigkeiten bei der Zugkraftübertragung. Die heute



**Bild 95c:** Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen, Bauart Translohr. Niederflrige Fahrgastzelle, wobei die Fahrwerke vorteilhaft in den Gelenkmodulen untergebracht sind. Die Antriebseinheit liegt unterflur jeweils an den Fahrzeugenden.



**Bild 95d:** Fahrzeugtyp 70%-NF-Straßenbahn, Bauart Citadis 301. Es kommen konventionelle Triebdrehgestelle mit durchgehender Radsatzwelle zum Einsatz. An den Fahrzeugenden sind kleine Stufen (180 mm) zu akzeptieren.



**Bild 95e:** Fahrzeugtyp 100%-NF-Straßenbahn, Bauart Multigelenkstraßenbahn NF10 mit Losrad-Fahrgestellen. Die Zweirad-Längsantriebe liegen in den Gelenkmodulen so weit außen, dass der tiefergelegte Fahrzeugboden auch zwischen den beiden Antrieben hindurchgeführt werden kann.



**Bild 96:** Spurbus Essen – der Schnellfahrweg mit fahrdynamischen Lage- und Höhenplanelementen sorgt für hohen Fahrkomfort.



**Bild 97a:** Moderne Nutzfahrzeugtechnologie und Beton-Gleitschalungstechnik sorgen im Zusammenspiel für einen ausgezeichneten Fahrkomfort. (LOHR INDUSTRIE)



**Bild 97b:** Ungenügender Fahrkomfort und hoher Materialverschleiß. Aufgelassene Straßenbahnstrecke mit Kopfsteinpflaster und zahlreichen Schadstellen.



**Bild 98:** Inbetriebnahme eines Straßenbahnfahrzeugs mit Messung des Geräuschpegels

in modernen Bussen eingesetzten 5-Gang-Automatikgetriebe sind allerdings in der Lage, diese Unregelmäßigkeiten soweit abzuschwächen, dass für den Fahrgast kaum ein Unterschied zwischen einem elektrischen und einem diesel-hydrmechanischen Antriebsaggregat festzustellen ist. Gleiches gilt für das Bremsverhalten, demnächst mit guter Dosierbarkeit der Bremswirkung über elektronisch gesteuerte Scheibenbremsen.

Eine hohe *Laufruhe* ist weitestgehend abhängig von der Ebenheit des Fahrwegs. Im Fall von qualitativ hochwertigen und gewarteten Fahrwegen unterscheiden sich die Transportsysteme bezüglich der Laufruhe nicht wesentlich, jedoch bieten vor allem gummibereifte Fahrwerke auf einem ebenen Fahrweg aufgrund abgestimmter Federungs- und Dämpfungseigenschaften eine beachtliche Laufruhe, insbesondere bei einer elektronisch gesteuerten Luftfederung. Aufgrabungen im Bereich des Fahrwegs sollten vermieden werden, da sich auch bei sorgfältig hergestellten Anschlüssen kaum zu vermeidende Unregelmäßigkeiten fahrkomfortmindernd auswirken (**Bild 97 a/b**).

*Fahrmotor-, Getriebe-, Elektronik- sowie Abrollgeräusch* beeinflussen das Fahrgefühl. Bei den Fahrzeugtypen des Transportsystems Buszug ist die Hauptquelle der Geräuschemissionen der diesel-hydrmechanische Antrieb. In den motorlosen Wagenteilen sind hingegen nur Abroll- und Fahrtwindgeräusche zu hören. Bei dem Fahrzeugtyp Busbahn ist die diesel- oder gas-elektrische Antriebseinheit als Power-Pack im hinteren Wagenteil angeordnet und kann damit vergleichsweise einfach gekapselt werden, so dass in den einzelnen Wagenteilen kaum Geräuschmissionen wahrnehmbar sind.

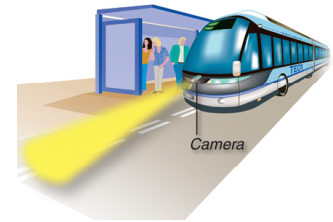
Großer Vorteil eines elektrischen Fahrantriebs mit externer Stromversorgung ist, dass es vor allem während der Standzeiten zu keinerlei Geräuschemission kommt und auch unter Last bei einer „gleichstromleisen“ Antriebsauslegung die Fahrmotorgeräusche im Hintergrund bleiben (z. B. Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn, **Bild 98**). Insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten treten aber Abrollgeräusche „Stahl auf Stahl“ bei der Straßenbahn auf. Bei den gummibereiften Transportsystemen sind Abrollgeräusche weniger stark ausgeprägt.

#### • Image

Oft spielt auch das Niveau der *technischen Innovation* bei der Entscheidung für oder gegen ein Transportsystem eine Rolle. Es geht hierbei vor allem um die Frage, in welchem Maße Fortschrittsdenken vermittelt werden kann. Innovative Transportsysteme wie die Busbahn oder die Straßenbahn auf Gummireifen finden gerade an Technologiestandorten von politischer Seite her „als Schaufenster einer fortschrittlichen Mobilität“



(Irisbus 2001, S. 6) besondere Beachtung. Es besteht aber ein Interessenkonflikt, da ein hoher Innovationsgrad Mehrkosten und Risiken bedeutet und möglicherweise die betriebliche Verfügbarkeit des Transportsystems anfangs einschränkt (**Bild 99**).



**Bild 99:** Innovative Anwendung im Bereich der Bustechnologie. Civis-Fahrzeug mit optischer Spurregelung (IRISBUS).

*Emotional Design* versucht über die subjektive Wahrnehmung (Sonderlackierung, Wärmeschutzscheiben, Lichtpunkte im Dach, Radblenden, Akustikdesign etc.) – und weniger über technische und planerische Kenngrößen – ein Auftreten als ein modernes, eigenständiges Transportsystem zu vermitteln, um an Profil zu gewinnen. Ziel ist eine klare Abgrenzung vor allem gegenüber dem modernen Linienbusverkehr. Und gerade bei den Sonderkonstruktionen der Kleinstserien (Fahrzeugtypen Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn) wird großer Wert auf Emotional Design gelegt (**Bild 100**). In gleicher Weise kann trotz der Verwendung von kostengünstigen Standardbauteilen aus der Nutzfahrzeug- und Omnibusindustrie auch bei dem Fahrzeugtyp Buszug zumindest ein punktuell Up-grade vorgenommen werden.

Ein ausgezeichnetes *Marketingpotential* besitzen innovative, emissionsarme und in hohem Maße städtebaulich integrierbare Transportsysteme (z. B. Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen). Dazu trägt u. a. auch ein für die Stadt entwickeltes, unverwechselbares Fahrzeugdesign bei. Eine „identifikationsstiftende“ Gestaltung der Fahrzeuge, die die Einzigartigkeit der jeweiligen Stadt und des Betreibers verdeutlichen soll, lässt sich bei allen zu untersuchenden Transportsystemen z. B. durch die Zusammenstellung von mehreren individuellen Kopfmodulen realisieren, die von den Bürgern schließlich ausgewählt werden. Auf diese Weise kann ein neues, innovatives Transportsystem in das Stadtmarketing aktiv mit einbezogen werden (**Bild 101**). Des Weiteren können Werbepartnerschaften zwischen den Betreibern und örtlichen Organisationen abgeschlossen werden. Sonderanfertigungen führen natürlich zu höheren Beschaffungskosten.



**Bild 100:** Emotional Design: Entwürfe einer Busbahn, Bauart Phileas (APTS).

## 5.5 Betriebstechnische Anforderungen

Die den Zielfeldern zurechenbaren Beschreibungsgrößen sind in der **Tabelle 5** aufgeführt. Betriebsstrategische Bewertungskriterien sind: Verkehrliche und betriebliche Störimpfindlichkeit, Personalqualifikation, Integration vorhandener Betriebstechnik, Liniennetzoptimierung sowie Möglichkeiten der Bedarfsanpassung. Auf örtlicher Ebene muss zur Beurteilung der Bewertungskriterien näherungsweise das Betriebsprogramm bekannt sein.



**Bild 101:** Gleiches Fahrzeug, aber individuelle Kopfmodule (LOHR INDUSTRIE)

Bewertungsebene	Zielfeld	Bewertungskriterium	Beschreibungsgrößen
Betriebstechnische Anforderungen	zuverlässige Betriebsabwicklung	Verkehrliche und betriebliche Störempfindlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsüberholungen</li> <li>• Bindung an vorgegebene Fahrzeuge</li> <li>• Koordinierbarkeit/Disposition</li> <li>• Ausweichmöglichkeit bei Baumaßnahmen</li> <li>• Technische Standfestigkeit</li> </ul>
	Arbeiterleichterungen des Personals	Personalqualifikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an das Fahrpersonal</li> <li>• Anforderungen an das Werkstattpersonal</li> <li>• Fachpersonal für die Betriebsanlagen</li> </ul>
	Betriebliche Kontinuität	Integration vorhandener Betriebstechnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiternutzung des Fuhrparks</li> <li>• Weiternutzung des Betriebshofs</li> <li>• Weiternutzung der Werkstätten</li> <li>• Vereinheitlichung der Fahrzeugtechnik</li> </ul>
	Bedarfsgerechtes Verkehrsangebot	Linienetzoptimierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Streckenvarianten</li> <li>• Steigfähigkeit</li> <li>• Liniennetzausdehnung</li> <li>• Stufenweiser Ausbau</li> </ul>
	Reaktionsfähige Betriebsabwicklung	Möglichkeiten der Bedarfsanpassung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstärkungsfahrten mit Verfügungsreserve</li> <li>• Kurzumläufe</li> <li>• Fahrt entgegen Lastrichtung ohne Zwischenhalt</li> <li>• Erhöhung des Fassungsvermögens</li> </ul>

Tabelle 5: Betriebstechnische Anforderungen mit Beschreibungsgrößen

### • Verkehrliche und betriebliche Störempfindlichkeit

Da verkehrliche und betriebliche Störungen in der Regel selten auftreten, dann aber erhebliche Auswirkungen auf den Betriebsablauf haben können, sollte der betrieblichen Reaktionsfähigkeit ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. Die Zuverlässigkeit des Betriebsablaufs auf überwiegend eigenen ÖPNV-Fahrwegen ist abhängig von der Möglichkeit, Störstellen auf dem Fahrweg auszuweichen, der Koordinierbarkeit der Fahrzeuge, der Bindung an vorgegebene Fahrzeuge sowie der technischen Standfestigkeit.

Planmäßige *Betriebsüberholungen* (Express-Busse, Leerfahrten) sind bei den handgelenkten Transportsystemen (Buszug, Busbahn) immer möglich. Bei den mechanisch spurgeführten Transportsystemen (Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn) bedarf es definierter Überleitungsstellen, um die Reihenfolge der Fahrzeuge ändern oder Hindernisse umfahren zu können (**Bild 102**). Schadhafte Fahrzeuge müssen von dem nachfolgenden Fahrzeug aus der Strecke herausgeschoben werden.



Bild 102: Unkomplizierte Betriebsüberholung zwischen einem TVR/GLT und einem handgelenkten Linienbus

Eine *Bindung an Sonderfahrzeuge* hat zweifelsohne Auswirkungen auf den Fuhrpark, da die Fahrzeugreserve zur Einhaltung eines planmäßigen Fahrbetriebs sowohl im Bereich der Sonderfahrzeuge als auch der Standardbusse entsprechend größer zu dimensionieren wäre. Eine ge-

meinsame Fahrzeugreserve ist nicht möglich (Transportsystem Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn). Zu beachten wäre auch, dass das vorübergehende Ausleihen von Sonderfahrzeugen (z. B. bei Großveranstaltungen) nicht möglich ist. Mit Blick auf eine freie Fahrzeugdisposition ist die Orientierung an Sonderfahrzeugen, die gegebenenfalls auch auf ihrer Eigentrasse von Standardbussen ersetzt werden könnten, erstrebenswert.

Bei den Transportsystemen Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn ist bei weiteren Fahrzeugbeschaffungen zu bedenken, dass bei Ausschreibungen auch weiterhin nur wenige Fahrzeughersteller in Frage kommen werden, so dass kaum mit einer preisreduzierenden Wettbewerbssituation gerechnet werden kann.

Eine bedarfsgerechte *Koordinierbarkeit und Disposition* der Fahrzeugeinsätze lässt wirtschaftliche Vorteile erwarten, sofern die Zahl der in den Fahrplänen festgelegten Fahrzeuge zugunsten einer Verfügungsreserve reduziert werden kann. Die Fahrzeuge der Verfügungsreserve könnten dann von einem Disponenten in der Betriebsleitzentrale in Abhängigkeit von dem jeweiligen Bedarf oder als Reaktion auf einen Störfall gezielt eingesetzt werden. Die Verfügungsreserve sollte sich aus Standardbussen zusammensetzen, die das Straßennetz und die ÖPNV-Eigentrassen bei aktuellem Bedarf räumlich flexibel und reaktionsschnell nutzen können (**Bild 103**).

*Ausweichmöglichkeiten bei Störstellen*, die durch langwierige Tiefbaumaßnahmen entstehen, sind nur dann von hoher Bedeutung, wenn im Vorfeld auf Leitungsfreiheit verzichtet worden ist. Bei spurgeführten Transportsystemen ist aber davon auszugehen, dass Ver- und Versorgungsleitungen vorab verlegt werden, so dass nachträgliche Aufgrabungen vermieden werden können. Baumaßnahmen, deren zeitlicher Ablauf im Voraus planbar ist, werden im Regelfall in die Zeit der Sommerschulferien gelegt, da einerseits das Fahrgastaufkommen deutlich geringer ist und andererseits Flächen des Kraftfahrzeugverkehrs vorübergehend in Anspruch genommen werden können.

Spurfreie Transportsysteme besitzen eine hohe räumliche Flexibilität, falls eine Umleitungsstrecke eingerichtet werden muss. Bei dem Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen wäre eine Führungsschiene auf ein Asphaltprovisorium aufzudübeln. Bei dem Transportsystem Straßenbahn wird nur selten eine Umleitungsstrecke mit Hilfsgleisen und Kletterweichen verlegt. Im Regelfall wird vielmehr ein Schienenersatzverkehr eingerichtet.



Bild 103: Standfahrzeug der Verkehrsaufsicht, abgestellt neben der Betriebsleitzentrale. (KINDINGER)

Die *technische Standfestigkeit* der Transportsysteme hat eine große Bedeutung für den Betreiber. Je nach Maß der Störanfälligkeit und Wartungsintensität der Fahrzeuge können Engpässe bei der Zahl der zur Verfügung stehenden Fahrzeuge auftreten und darüber hinaus durch die Reparaturarbeiten nicht zuletzt die Personalkosten in die Höhe schnellen. Bei belastbaren Vereinbarungen über die zu erwartenden Lebenszykluskosten liegt hier aber vor allem bei dem Fahrzeuglieferanten ein hohes wirtschaftliches Risiko.

Die Wahrscheinlichkeit von Störungen in der Fahrzeugtechnik und erhöhtem Aufwand im Bereich der Fahrweginfrastruktur kann mit der Verwendung von nicht ausgereiften Fahrweg- und Fahrzeugkomponenten steigen. Die Instandhaltungsvollkosten der Fahrzeuge und der Fahrweginfrastruktur lassen sich ohne Frage bei Einsatz von anwendungserprobter, robuster Technik wesentlich besser abschätzen als bei neu entwickelter Technik.

Die technische Standfestigkeit liegt bei dem Transportsystem Niederflur-Straßenbahn auf hohem Niveau, da deren Betriebstauglichkeit schon im jahrelangen Praxiseinsatz optimiert werden konnte. Beim Transportsystem Buszug wird auf die Technik von Standardbussen zurückgegriffen, und es ist damit in seiner Störanfälligkeit und Wartungsintensität ebenfalls gut abschätzbar. Über die Transportsysteme Busbahn und Straßenbahn auf Gummireifen liegen noch keine belastbaren Daten vor.

- **Personalqualifikation**

Abhängig von der Wahl des neuen Transportsystems ändern sich die Anforderungen an das Fahr-, Werkstatt- und Streckenpersonal.

Die *Anforderungen an das Fahrpersonal* sind entsprechend den Transportsystemen differenziert zu betrachten: Bei einem Transportsystem Buszug wird lediglich eine Umgewöhnung der Busfahrer an die längeren Abmessungen der Fahrzeuge erforderlich. Eine straffe Linienführung, Beschleunigungsmaßnahmen, ÖPNV-Eigentrasse und geradlinig anfahrbare Haltestellen erleichtern möglicherweise sogar die Arbeitsbedingungen. Bei dem Transportsystem Busbahn kommen zusätzlich noch Qualifikations- und Ausbildungsmaßnahmen für die Anwendung des Fahrer-Lenk-Assistenten hinzu. Das Führen einer Straßenbahn auf Gummireifen und einer Straßenbahn erfordert eine Qualifikation gemäß BOStrab. Freilich wirkt sich im Fahrbetrieb die Spurführung dieser beiden Systeme arbeitsentlastend aus, da der Lenkvorgang entfällt (**Bild 104**).



Bild 104: Arbeitsplatz Straßenbahn

Die *Anforderungen an das Werkstattpersonal* bleiben bei der Wartung und Instandsetzung der konventionell ausgerichteten Fahrzeuge des Transportsystems Buszug unverändert. Die elektro- und maschinentechnischen Anlagen der drei anderen Transportsysteme erfordern dagegen nicht unerhebliche Ausbildungsmaßnahmen zur Qualifikation



des in diesem Bereich tätigen Personals. Gleiches gilt für die Spurführung des Transportsystems Straßenbahn auf Gummireifen. Auch die Pflege der komplexen berührungsfreien Querführungssysteme des Transportsystems Busbahn bedarf hochqualifizierter Techniker. Beim Transportsystem Straßenbahn erfordert die Wartung der Fahrwerke und des elektrischen Antriebs entsprechend ausgebildetes, teilweise neu zu beschäftigendes Personal. Darüber hinaus ist systembedingt die notwendige Personalbemessung zur Gewährleistung der Einsatzbereitschaft und Betriebssicherheit von Bahnen höher als bei Bussen (**Bild 105 a-c**).

Die *Anforderungen an das Fachpersonal Betriebsanlagen* sind bei allen Transportsystemen im Bereich der Instandhaltung von Betriebsleistungssystemen, ÖPNV-spezifischer Infrastruktur, Funk- und Signaltechnik etc. gleich. Zugsicherungssysteme kommen nicht zum Einsatz.

Bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn kommen Beton- und Asphaltfahrbahnen zum Einsatz, die bei sachgemäßer Herstellung und einer langfristig angelegten Bemessungsstrategie keine nennenswerten Erhaltungsarbeiten erfordern. Im Haltestellenbereich sind verformungsresistente Betonfahrbahnen bei beiden Transportsystemen unerlässlich; zwischen den Haltestellen kann eine Asphaltdeckschicht zum Einsatz kommen.

Umfassende Erneuerungsarbeiten der Asphaltstraßen werden bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn durch Fremdvergaben an Dritte übertragen. Die Lenksysteme bedingen bei dem Transportsystem Busbahn auch betriebliche Wartungsarbeiten an der Leitinfrastruktur.

Das Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen verkehrt ebenfalls auf Beton- und hochwertigen Asphaltfahrwegkonstruktionen. Aufgrund der hohen Ansprüche hinsichtlich des Fahrkomforts und des damit verbundenen Erhaltungsmanagements sollte anfangs eigenes Fachpersonal zumindest für die Infrastrukturunterhaltung bereitgestellt werden, vor allem um erste Erfahrungswerte zu bündeln. Das Fachpersonal wird darüber hinaus auch für die Wartung der Streckenausrüstung (Monoschiene, Weichen, Winterdienst etc.) benötigt.

Bei dem Transportsystem Straßenbahn ist zu berücksichtigen, dass Gleise und Weichen neben der Spurführung auch der Lastabtragung der vergleichsweise hohen Fahrzeugmassen dienen und sich deshalb ein höherer Verschleiß einstellt. Zur betriebssicheren Infrastrukturbereitstellung wird von einem Verkehrsunternehmen zur Durchführung routinemäßiger Wartungsarbeiten in gewissem Umfang auf eigenes Fachpersonal zurückzugreifen sein (**Bild 106**). Bei den Transportsystemen Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn erfordert der elektrische Fahrtrieb überdies Fachpersonal für Wartung, Instandsetzung und Inspektion der ortsfesten Stromversorgungseinrichtungen.



**Bild 105a:** Instandhaltung der Radsätze einer Schienenbahn. Beispiel: CNC-Radsatzfräsmaschine.



**Bild 105b:** Stromrichtergeräte und Umformer eines elektrischen Fahrzeugs erfordern Starkstrom-Techniker. Im Vordergrund: Fahrgastraum-Klimagerät.



**Bild 105c:** Einbau eines gas-elektrischen Power-Packs einer Busbahn, Bauart Phileas. Es werden gänzlich neue Anforderungen an das Werkstättenpersonal gestellt. (APTS)



**Bild 106:** Fremdfirma verlegt einen neuen Gleisrost, Schotteroberbau

- **Integration vorhandener Fahrzeuge und Betriebsanlagen**

Bei einer ortsspezifischen Eignungsprüfung ist in Abhängigkeit von der Instandhaltungsstrategie u. a. die Lage der vorhandenen Betriebshofanlage (Aufwand für Leerkilometer) sowie deren technischer und baulicher Zustand zu prüfen. Die tägliche Betreuung und die ordnungsgemäße Bereitstellung von Fahrzeugen für den Verkehrseinsatz sowie deren Instandhaltung stellen eine überaus wichtige Voraussetzung für einen reibungslosen Betrieb dar. Zur Erfüllung dieser Aufgaben sind entsprechend konzipierte Betriebshöfe ebenso erforderlich wie die Fahrzeuginstandhaltung in Verbindung mit sachgerecht gestalteten Werkstätten.

Eine teilweise *Weiternutzung des Busfuhrparks* im fortdauernden, wenn auch reduzierten Linienbusverkehr ist immer gegeben. Im Regelfall kann der vorhandene Busfuhrpark bei der Einführung eines neuen Transportsystems zyklusgerecht verkleinert werden, indem veraltete Standardbusse ersatzlos außer Dienst gestellt werden. Bei der Realisierung der Transportsysteme Buszug und Busbahn könnte sogar ein kleiner Teil geeigneter Standardbusse auch als Verstärkungs-, Verfügungs- und/oder Fahrzeugreserve weiter genutzt werden. Bei dem Transportsystem Busbahn sollten hierzu die Haltestellen auch ohne Fahrer-Assistenzsystem anfahrbar sein. Auf diese Weise werden weniger neue Sonderfahrzeuge benötigt und die Beschaffungskosten sinken. Bei den spurgeführten Transportsystemen können im Vergleich dazu die vorhandenen Standardbusse die unzureichend breite Fahrweginfrastruktur nicht mitbenutzen. Sie stellen aber eine Schienenersatzverkehr-Reserve dar.

Die *Weiternutzung eines Betriebshofs* ist bei allen gummibereiften Transportsystemen denkbar. Bei den gummibereiften und elektrischen Transportsystemen (Busbahn und Straßenbahn auf Gummireifen) hängt die Weiternutzung des Betriebshofs davon ab, ob der weiter entwickelten Fahrzeugtechnik in der vorhandenen Werkstattanlage des Betriebshofs Rechnung getragen werden kann.

Auch bei der Straßenbahn auf Gummireifen könnte durchaus die Weiternutzung des Busbetriebshofs in Erwägung gezogen werden, da durch Führungsschiene und die Möglichkeit, spurtreu sehr enge Kurvenradien zu fahren, die grundlegende bauliche Struktur erhalten werden könnte. Bei Dienstfahrten im Betriebshof und bei Leerfahrten von und zur Trasse werden an den Fahrkomfort nur geringe Ansprüche gestellt. Hinzu kommt, dass die Straßenbahn auf Gummireifen mit einer Traktionsbatterie ausgestattet werden kann, die die Einrichtung einer Fahrleitungsanlage bis auf einen Prüfabschnitt entbehrlich macht. Ein so genannter kombinierter Betriebshof mit Standardbussen ermöglicht die Ausnutzung von Synergieeffekten (z. B. gemeinsame Nutzung der Arbeitsstände für das Fahrfertigmachen, Fahrzeugaußenreinigung etc.).



Beim Transportsystem Straßenbahn ist in jedem Fall die Planung einer neuen Betriebshofanlage einschließlich Werkstätten, Fachabteilungen in Nebenwerkstätten sowie Sozialanlagen mit günstiger Anbindung zur Trasse vorzusehen (**Bild 107**).



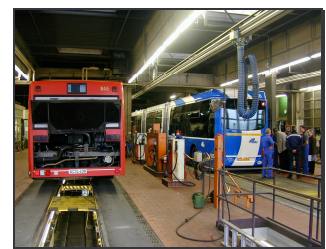
Die *Weiternutzung von vorhandenen Werkstätten* ist bei dem Transportsystem Buszug im Regelfall ohne Weiteres möglich (**Bild 108 u. 109**). Einzig die Fahrzeugsonderlänge kann zu Problemen führen, insbesondere bei stationären Fahrzeughebevorrichtungen, die auf Standardbusse abgestimmt sind. Nachträglich können aber auch mobile Hebeböcke beschafft werden, die in den Werkstätten variabel einsetzbar sind. Zu beachten ist, dass ein Rückwärtssetzen eines doppelgelenkigen Fahrzeugs nur geübten Fahrern möglich ist.



**Bild 107:** Ein Straßenbahnsystem erfordert immer auch die Errichtung einer neuen Betriebshofanlage einschließlich einer neuen Werkstatt. (Bild oben, ALSTOM)

Bei den gummiereiften elektrischen Transportsystemen ist eine Vielzahl von technischen Einrichtungen im Dachbereich untergebracht, was eine gute Zugänglichkeit der Dachaufbauten erforderlich macht. Um aus wirtschaftlichen Gründen bei der Wartung und Instandsetzung dieser Fahrzeuge Parallelarbeiten zu ermöglichen, sollten geeignete Arbeitsebenen festgelegt sein, die in jedem Fall eine umfangreiche Umgestaltung der Werkstätten erfordern (Transportsystem Busbahn und Straßenbahn auf Gummireifen).

Eine *Standardisierung der Fahrzeugtechnik* ist mit Blick auf die Folgeaufwendungen in Anlehnung an bisher im Betrieb eingesetzte, standardisierte Produktionsmittel erstrebenswert. Rationalisierungserfolge durch Standardisierung haben sich bisher vorrangig im Omnibusbereich ergeben, der offensichtlich von der Nähe zum sich rasant entwickelnden, übrigen Automobil- und Nutzfahrzeugbau mehr profitiert als die Bahnsysteme in ihrem kleinen Marktsegment (SCHMIDT/SIEGERT 2002, S. 14).



**Bild 108:** Die Weiternutzung vorhandener Werkstätten ist im Regelfall auch mit einem Buszug möglich. Rechts im Bild der Van Hool - Doppelgelenker im Depot der ASEAG

Die Wahl eines Fahrzeugtyps, der nicht standardisierten Parametern genügt (Spurweite, Querführungstechnik, Energieversorgung etc.), erhöht die Beschaffungs- und Instandhaltungskosten (Transportsysteme Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn), und es wird eine Ersatzteilbevorratung und das Vorhalten von Spezialwerkzeugen notwendig. Bei ausgesprochenen Kleinstserien (z. B. Straßenbahn auf Gummireifen) kann möglicherweise auch nicht auf das wirtschaftliche Tauschteilverfahren zurückgegriffen werden; es muss eine personalintensive Aggregataufarbeitung in der eigenen Werkstatt erfolgen.

- **Liniennetzoptimierung**

Der Trassenkorridor eines Transportsystems orientiert sich vor allem an verkehrserzeugenden Großeinrichtungen, der Schwerelinie der Einwohnerverteilung, der Arbeitsplatzdichte, den Verkehrsbeziehungen zwischen den Verkehrszellen der Stadtbezirke, der zur Verfügung stehenden Verkehrsfläche sowie den bereits vorhandenen Transportmöglichkeiten.



**Bild 109:** Weiternutzung vorhandener Nebenanlagen, hier Waschstraße

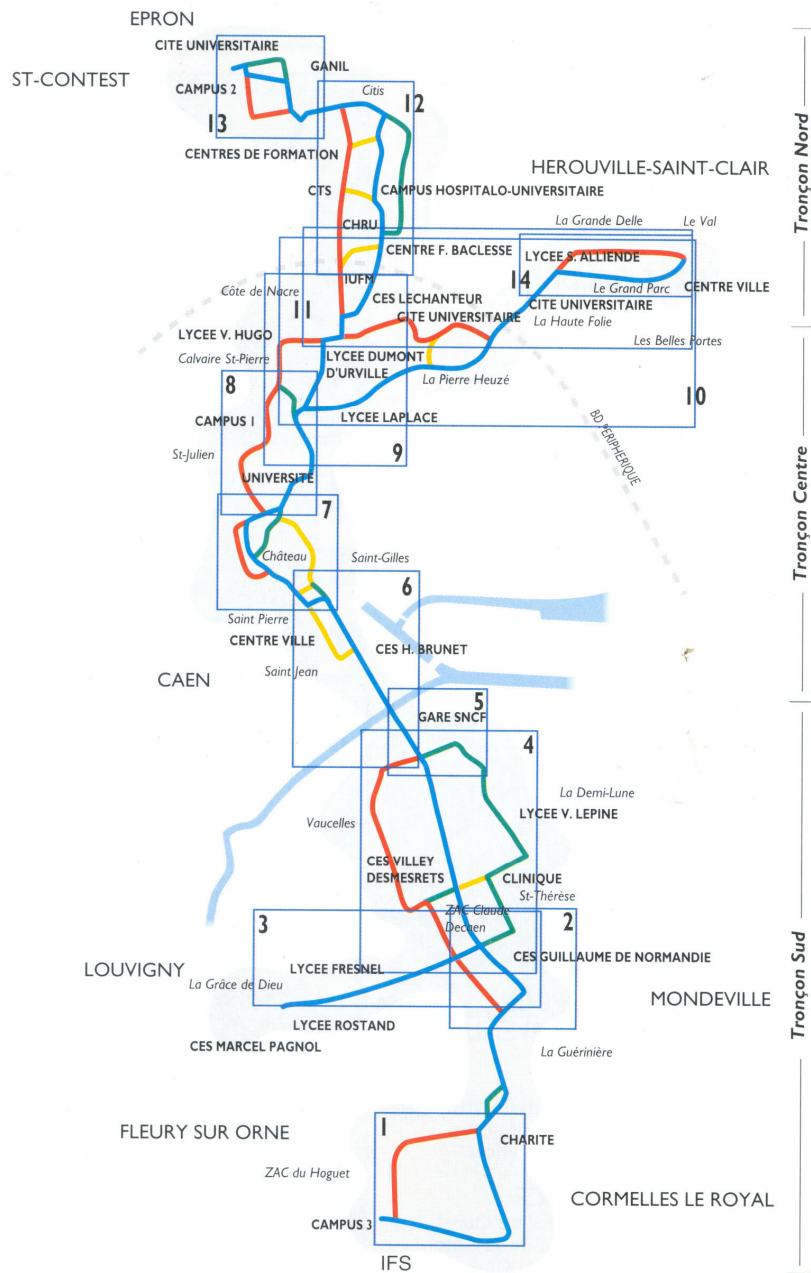


Abbildung 11: Verschiedene Streckenvarianten innerhalb eines Planungskorridors. Einzelne Transportsysteme können aufgrund technischer Merkmale vor allem bei städtebaulich schwierigen Streckenabschnitten besonders geeignet sein. (Beispiel Caen, SMTC)

Je nach Gewichtung ergeben sich folglich *Streckenvarianten* innerhalb eines solchen Planungskorridors, die ortsspezifisch von den einzelnen Transportsystemen unterschiedlich gut bewältigt werden können. Einzelne systemspezifische Eigenschaften der Transportsysteme können eine Trassierung genau dort möglich erscheinen lassen, wo bei der Wahl eines der anderen Transportsysteme nur mit einer geringen Zielerreichung zu rechnen wäre (**Abbildung 11**).

So zeigen die Erfahrungen, dass es bei den Transportsystemen Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn leichter ist, auch bei geringer Flächenverfügbarkeit eine ÖPNV-Eigentrasse einzurichten. Des Weiteren können die Transportsysteme Buszug und Straßenbahn auf Gummireifen dazu verhelfen, bautechnische Sprungkosten zu vermeiden, wenn zum Beispiel die Achslasten auch für ein vorhandenes Brückenbauwerk zulässig sind und deshalb ein Neubau umgangen werden kann. Die umfassende Realisierung von Rasengleisen in „Straßenschluchten“ erhöht die Akzeptanz des ÖPNV, weil das innerstädtische Grünflächendefizit reduziert werden kann (Transportsystem Straßenbahn). Das Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen wiederum vermag aufgrund hervorragender Kurvenlaufeigenschaften, geringer Erschütterungen und unter Verzicht auf eine Fahrdrähtanlage (z. B. Traktionsbatterie) auch eine historische Altstadt zu durchqueren. Ohne Frage können die Transportsysteme Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen sowie Straßenbahn einen qualitätsvollen Straßenraumentwurf einer Fußgängerzone erleichtern. Durch die Wahl eines geeigneten Transportsystems lassen sich also bestmögliche Linienführungen umsetzen und problematische Streckenabschnitte entschärfen.

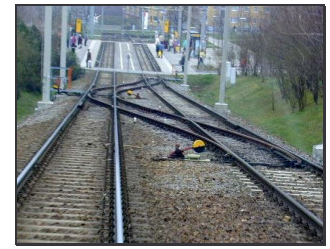


Bild 110: Straßenbahnhaltestelle im ebenen, angeschütteten Bereich einer Steigungsstrecke

Die *Steigfähigkeit* der Verkehrsmittel hat vor allem in Städten mit anspruchsvoller Topografie großen Einfluss auf die gewählte Linienführung. Gummibereifte Fahrzeuge können zwar Steigungen über 15% bewältigen, aber in Städten, die in ihrem Liniennetz zahlreiche Längsneigungen größer als 8,5% aufweisen, ist der Einsatz von Bussen mit nur einer angetriebenen Achse und/oder diesel-hydromechanischem Antrieb nicht mehr empfehlenswert. Auch Allrad-angetriebene Adhäsionsschienenfahrzeuge stoßen ebenfalls spätestens bei 8,5% an ihre technische Grenze – nicht zuletzt durch die hohen Anforderungen an das Bremssystem bei Talfahrten. Als Rückfallebene wären selbsttätige Geschwindigkeitsüberwachungssysteme vorzuhalten. Im Geltungsbereich der BO-Strab wird als Richtwert sogar eine Längsneigungsbeschränkung von 4% vorgegeben, die insbesondere im Haltestellenbereich nur in Ausnahmefällen mit Genehmigung der Technischen Aufsichtsbehörde (TAB) überschritten werden darf (**Bild 110 u. 111**).

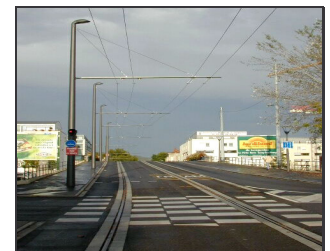


Bild 111: Steilstrecke eines gummbereiften Transportsystems mit elektrischem Antrieb

Eine *Liniennetzausdehnung* könnte durch eine spätere Linienverlängerung in aufgelockerte Gebiete des Stadtrand umsteigefrei umgesetzt werden, wobei hier eine ausgedünnte Taktfrequenz zu akzeptieren wäre. Aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft ist eine Netzausdehnung aber gewiss nur, wenn der betriebliche Aufwand mit dem zu erwartenden Auslastungsgrad im Verhältnis zueinander steht, was nur zu erwarten sein wird, wenn die Infrastrukturkosten durch die Mitbenutzung von Verkehrsstraßen (wie bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn) gering gehalten werden können.



**Bild 112: Attraktive Umsteiganlage mit kurzen Wegen und niveaugleichen Ein- und Ausstiegsverhältnissen (GRONECK)**

Eine Weiterführung der Linien hat für den Fahrgast den entscheidenden Vorteil, dass der Verkehr nicht gebrochen wird und so Umsteigevorgänge entfallen. Es ist aber gleichermaßen zu beachten, dass vorrangig ÖV-Schwerelinien zu bedienen sind und Großraumfahrzeuge – gleich welcher Art – in aufgelockerten Siedlungsstrukturen nicht ausgelastet sein können. Hier wären moderne Umsteiganlagen an den Linienendpunkten im Zusammenspiel mit Zubringer- und Verteilerverkehr, gegebenenfalls auch im Bedarfsbetrieb und mit Park-and-Ride-Anlagen, nach wie vor zweckmäßig (**Bild 112 u.113**).



**Bild 113: Park-and-Ride-Anlage (N.N.)**

Ein *stufenweiser Ausbau*, gegebenenfalls auch unter rollendem Rad, kann bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn erfolgen. Fertiggestellte Streckenabschnitte, auch wenn sie nicht zusammenhängend sind, können zügig in den Linienbetrieb integriert werden und so den Verkehrswert zeitnah steigern. Vorteilhaft bei in sich geschlossenen Ausbauphasen ist ebenfalls der nur stufenweise aufzubringende Kapitalbedarf. Andererseits muss aber auch die Gefahr eines „verewigten“ Übergangszustands gesehen werden (**Bild 114 u. 115**).

#### • Möglichkeiten der Bedarfsanpassung

Erfahrungsgemäß ist das wirtschaftliche Einsparungspotential um so größer, je flexibler die Fahrzeugdisposition gestaltet werden kann.



**Bild 114: Streckenabschnitt des Utrechter HOV-Systems wird unmittelbar nach seiner Fertigstellung vorübergehend vom Linienverkehr befahren.**

Allgemein müssen *Verstärkungsfahrten* in der Verkehrsspitze abgewickelt werden. Bei dem handgelenkten Transportsystem Buszug könnten vorhandene Standard-Gelenkbusse nur für die Spitzenstunde im Kurzeinsatz und in der entsprechenden Lastrichtung als Verstärkungsfahrzeuge eingesetzt werden. Allerdings muss hierbei auf zusätzliches Fahrpersonal zurückgegriffen werden. Es wird aber so möglich, die Beschaffung der Sonderfahrzeuge auf die benötigte Fahrzeugsumme während der Hauptverkehrszeit abzustimmen und nicht auf die der ungleichmäßig höheren Verkehrsspitze. Gerade durch eine Reduzierung der Sonderfahrzeuge lassen sich Fuhrparkkosten in erheblichem Umfang senken.



**Bild 115: Dauerhaftes Provisorium: Hochwertige Informationsstele mit samt Fahrkartenautomat in einer rückgebauten Busbuch**

Aufgrund der technischen Auslegung als Bahnsystem muss bei den spurgeführten Transportsystemen (Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn) in jedem Fall auch auf bauartgleiche Sonderfahrzeuge zurückgegriffen werden, was bei der Fuhrparkgröße zu berücksichtigen ist. Ohne personalintensive Verstärkungsfahrzeugen einzusetzen, könnte man bei den spurgeführten Transportsystemen auch durch die Bildung von langen Transporteinheiten eine ausreichende Beförderungskapazität sicherstellen.



Vielfach bedient man sich eingeschobener *Kurzläufer* zur Abdeckung von Nachfragespitzen. Gerade bei der typischen Liniengrundform Durchmesserlinie ist das Fahrgastaufkommen entlang der Strecke selten auf gleichem Niveau; insbesondere zu den Linienendpunkten hin ist mit einem geringeren Fahrgastaufkommen zu rechnen. Kurzläufer bedürfen allerdings einer Wendemöglichkeit.

Für spurgeführte Transportsysteme (Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn) kann hierzu an geeigneter Stelle eine platzsparende Kehrgleisanlage eingerichtet werden, sofern Zweirichtungsfahrzeuge eingesetzt werden (**Bild 116**). Bei den handgelenkten Transportsystemen bedürfen Kurzumläufe im Regelfall keiner gesonderten Wendeanlage. Es kann eine Blockumfahrung oder eine Schleifenfahrt eingerichtet werden.



Bild 116: Kehrgleisanlage auf freier Strecke

*Leerfahrten entgegen der Lastrichtung* ohne Zwischenhalt können vor allem während der morgendlichen Verkehrsspitze zu einer wirtschaftlichen Bedarfsanpassung beitragen. Es kommen zwischen den planmäßig verkehrenden Linienfahrzeugen Verstärkungsfahrzeuge zum Einsatz, die jeweils nur die stark belasteten Fahrtrichtungen – morgens in die Stadt hinein und abends hinaus – bedienen. In der Gegenrichtung kehren sie als Leerfahrt ohne Halt gegebenenfalls über parallele (Schnell-) Straßen zügig zum Ausgangspunkt zurück, um erneut in der Hauptrichtung eingesetzt zu werden. Realisiert werden kann ein derartiges Betriebskonzept nur mit spurfreien Fahrzeugen, die an jeder geeigneten Stelle den Linienweg verlassen bzw. wieder aufnehmen können (Transportsysteme Buszug und Busbahn). Ähnliches gilt auch für Expressfahrten in Lastrichtung in der Verkehrsspitze. Diese Form der Bedarfsanpassung wirkt sich reduzierend auf die gesamte Fuhrparkgröße aus; des Weiteren kann auch die notwendige Zahl der Sonderfahrzeuge verkleinert werden, da als Verstärkungsfahrzeuge auch Standardbusse zum Einsatz kommen können.

Die *Steigerung des Fassungsvermögens* der eingesetzten Fahrzeuge hängt von der Entwicklung der Nachfrage ab. Eine langfristige Steigerung der Nachfrage ist u. a. abhängig von dem Stellenwert des Zubringer- und Verteilerverkehrs und Park-and-Ride-Anlagen, gesamtgemeindlichen Verlagerungskonzepten, der Ansiedlung neuer Arbeitsplätze, der Ausweisung von Wohngebieten sowie tariflicher Entwicklungen. Auf steigende Fahrgastzahlen kann bei allen Transportsystemen durch eine Taktverdichtung reagiert werden. Eine Alternative hierzu ist der Einsatz von kapazitätsstärkeren Fahrzeugeinheiten, da auf diese Weise die Zahl des Fahrpersonals nicht erhöht zu werden braucht, im Gegenteil: Der Personalwirkungsgrad verbessert sich während der Verkehrsspitze. Diesem Gesichtspunkt steht allerdings der Nachteil entgegen, dass das Fassungsvermögen sich tageszeitlichen Verkehrsschwankungen nicht anpassen kann. Außerdem wird die Verfügbarkeit des Transportsystems durch die gleichbleibende Bedienungshäufigkeit nicht erhöht.

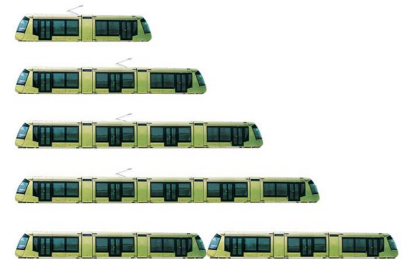


Bild 117: Das Fahren in Doppeltraktion ist auch bei der gummbereiften Straßenbahn möglich, sofern eine Rahmenlängssteifigkeit von mindestens 200 kN berücksichtigt wird, Beispiel Translohr. Das nachträgliche Einhängen eines Wagenkastens mit dem Fahrwerk erfolgte bei Straßenbahnen bisher nur in Montpellier. (LOHR INDUSTRIE)

Bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn kann das Fahrzeug aus zulassungsrechtlichen Gründen nicht weiter verlängert werden. Bei den spurgeführten Transportsystemen Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn ist dagegen eine Steigerung der Beförderungskapazität durch die Kupplung von Fahrzeugeinheiten (Doppeltraktion) oder den Einsatz von modular aufgebauten Fahrzeugen, die das nachträgliche Einhängen eines Wagenkastens ermöglichen, realisierbar (**Bild 117**). Maßgebende Größe für die Verlängerung der Fahrzeuge ist aber die Haltestellenlänge, die aus städtebaulichen Gründen auf etwa 40 m, höchstens jedoch 60 m, begrenzt bleiben sollte.


## 5.6 Städtebauliche Eignung

Die Integration eines förderfähigen, und damit baulich separierten ÖPNV-Fahrkörpers ist besonders in angebauten Straßenräumen für alle Transportsysteme, egal ob Rad/Schiene- oder Bustechnologie, schwierig, da Sicherheitsbedenken der Verkehrsbetriebe bzw. der technischen Aufsichtsbehörden sowie Anforderungen des Oberbaus einerseits und städtebauliche Ansprüche andererseits gegeneinander abzuwägen sind. Zu beachten ist überdies, dass im Anwendungsbereich der BOStrab vorrangig eine ingenieurmäßige Bemessung vorgegeben wird; gleiches gilt auch für die Richtlinien des VDV sowie der RAS-Ö (Richtlinie für die Anlage von Straßen – Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs). Es bleiben hierbei ortsspezifische, städtebauliche und stadträumliche Gegebenheiten außer Acht. Auch die starre Handhabung der hiesigen Förder Richtlinien führt dazu, dass vor allem funktionelle, technische und ökonomische Kriterien in eine Bemessung einfließen.

Neben den systemspezifischen, verkehrlichen und betriebstechnischen Ansprüchen eines Transportsystems sind bei einem Straßenraumentwurf aber auch die Auswirkungen auf die Gestalt, das Bild und das Erleben eines Straßenraumes zu berücksichtigen. Besonders die städtebaulich vorbildhafte Wiedereinführung der Straßenbahn in Frankreich, wo bei den Trassenentwürfen hoher Wert auf eine Kontinuität wiedererkennbarer Gestaltungselemente, eine einheitliche Gestaltung der Fassaden der Randbebauung und des Straßenraumes, eine Erlebbarkeit historischer Bezüge, eine umfassende Grünraumplanung sowie eine Erhöhung der Aufenthaltsqualität durch MIV-Restriktionen gelegt worden ist, zeigt, dass auf diese Weise den Bürgern die Identifikation mit „ihrem“ Transportsystem leicht fällt und die Akzeptanz verkehrsberuhigender Maßnahmen gefördert werden kann. Nachfolgend werden die Transportsysteme zwischen Bus und Bahn deshalb hinsichtlich ihrer vor allem technisch bedingten Handlungsspielräume bei der städtebaulichen Integration untersucht.



In der EAHV 93 (Empfehlung für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen), der EAE 85/95 (Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen), der ESG 96 (Empfehlungen zur Gestaltung innerhalb bebauter Gebiete) sowie dem „Merkblatt für die Gestaltung von Anlagen des schienengebundenen öffentlichen Verkehrs“ werden neben den technischen Parametern die städtebaulichen Bedingungen nach dem Grundsatz einer ganzheitlichen Betrachtung für die Gestaltung und Einordnung von ÖPNV-Trassen und -Anlagen und differenzierte Nutzungsanforderungen berücksichtigt. Deren Empfehlungen haben folglich in besonderem Maße in die Gegenüberstellung der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn Eingang gefunden. Entsprechend wird die städtebauliche Eignung der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn von den Möglichkeiten der straßenräumlichen Integration, der stadtgestalterischen Qualität sowie einer stadtverträglichen Bauabwicklung beschrieben (**Tabelle 6**).

Bewertungsebene	Zielfeld	Bewertungskriterium	Beschreibungsgrößen
Städtebauliche Eignung 	Straßenräumliche Integration	Verkehrsflächenbedarf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrwegbreite</li> <li>• Haltestellenanlage im Straßenraum</li> <li>• Richtungswechselbetrieb</li> <li>• Mindestkurvenradius</li> <li>• Kurvenlaufeigenschaften</li> </ul>
	Stadtgestalterische Qualität	Auswirkungen Stadtbild	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestaltqualität der Oberbauform</li> <li>• Trassenbegrünung</li> <li>• Fahrzeugdimensionen</li> <li>• Fahrdrahtanlage</li> </ul>
	Stadtverträgliche Bauabwicklung	Baubedingte Behinderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitungsfreiheit</li> <li>• Aufwand der Baumaßnahmen</li> <li>• Mitbenutzung von Verkehrsstraßen</li> </ul>

**Tabelle 6: Städtebauliche Bewertungskriterien mit Beschreibungsgrößen**

Auf örtlicher Ebene müssen zur Beurteilung der städtebaulichen Bewertungskriterien übersichtlich die verkehrliche und straßenräumliche Situation sowie die Nutzungsansprüche als Entwurfsgrundlagen bekannt sein. Mit in die Überlegungen einzubeziehen sind auch gesamtgemeindliche Konzepte, die eine ausgewogene Berücksichtigung aller Nutzungsansprüche fördern. Eine großflächige Verlagerung des Kraftfahrzeugverkehrs hätte beispielsweise u. a. starken Einfluss auf die Flächenverfügbarkeit, so dass idealerweise die Teilverkehrssysteme des Umweltverbundes zusammenhängend neu strukturiert werden könnten.

#### • Verkehrsflächenbedarf

Voraussetzung zur Optimierung des Betriebsablaufs und des Beförderungskomforts sind störungsfreie Fahrwege. In Abhängigkeit vom Straßenraumcharakter und von den Umfeldnutzungen sind vom MIV baulich getrennte, besondere ÖPNV-Fahrkörper anzustreben, die entsprechend des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG) bei allen Transportsystemen förderfähig sind. Bei einer örtlichen Eignungsprüfung muss geklärt werden, ob grundsätzlich bei allen Transportsystemen der gleiche Umfang eigener ÖPNV-Fahrwege realisierbar ist.



Bild 118a: Orléans vor der Einführung der Straßenbahn, Blick auf die Place du Martroi mit der Statue Jeanne d'Arc. Beachte die Vielzahl der Absperrelemente. Aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeit kann das Lichtraumprofil gering bemessen werden. (TYSON)



Bild 118b: Gleicher Blick nach der Einführung der Straßenbahn, es ist nun ein Gegenrichtungsverkehr möglich. Man beachte die schmale Abmessung des Straßenbahnfahrzeuges. Die Standorte der Leuchten in den Seitenräumen sind unverändert geblieben.

Die *Fahrwegbreite* spielt hierbei erfahrungsgemäß nur eine untergeordnete Rolle, da es vielfältige Möglichkeiten gibt, einen störungsfreien Fahrweg anzulegen. Hierbei können anstatt eines durchlaufenden auch partielle ÖPNV-Sonderfahrstreifen oder -Fahrwege zum Einsatz kommen. Eine ÖV-Fahrtablaufanalyse, Berücksichtigung der Nutzungsansprüche, Erfassung der straßenräumlichen Situation, Fragen der Verkehrssicherheit, Untersuchungen des Kfz-Verkehrsaufkommens sowie die Leistungsfähigkeit an Knotenpunkten geben Aufschluss über geeignete Beschleunigungs- und Bevorrechtigungsmaßnahmen in einem Straßenabschnitt. KLOPPE (2000) hat hier Entscheidungsdiagramme erstellt, mit denen auf der Grundlage der straßenräumlichen und verkehrlichen Randbedingungen in unterschiedlichen Gebietstypen die im Einzelfall zweckmäßigste Führung der Transportsysteme ermittelt werden kann.

Vorteile bei dem Indikator Spurbreitenbedarf ergeben sich für die mechanisch geführten Transportsysteme im direkten Vergleich mit den spurfreien Transportsystemen dennoch, da häufig Geh- und Radwegflächen verbreitert oder neu angelegt werden können, Eingriffe in den Baumbestand oder Grünstreifen vermieden werden können sowie den Belangen des ruhenden Verkehrs und der Anlieferung von Geschäften besser entsprechen werden kann (**Bild 118 a/b**). Es kommt ferner trotz des geringen Raumbedarfs zu keinerlei Geschwindigkeitsbeschränkungen im Begegnungsfall.

	Fahrzeugbreite	Richtungsfahrweg in Mittellage	Gegenrichtungsfahrweg in Mittellage
Buszug	2,55 m	3,25 – 3,50 m	6,60 – 7,00 m
Busbahn	2,55 m	3,25 - 3,50 m	6,60 – 7,00 m
Gummibereifte Straßenbahn	2,20 m	2,50 m	5,30 m
Straßenbahn	2,40 m	2,70 m	5,40 m

Tabelle 7: Mindestmaße von Fahrwegbreiten in der Geraden ohne Fahrleitungsmast,  $v_{zul} \leq 50 \text{ km/h}$



Bild 119: Straßenbündiger Sonderfahrstreifen für zwei Richtungen in Mittellage, Beispiel mit Fahrstreifen-signalisierung (ETZOLD)

Der *Richtungswechselbetrieb* ist ein unkonventionelles Entwurfs-element, welches in den Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV 93) vorgeschlagen wird (**Bild 119**). Bei stark richtungsbetontem Kraftfahrzeugaufkommen und erheblich eingeschränkter Flächenverfügbarkeit kann ein einspuriger Fahrstreifen in Mittellage genutzt werden, wobei die Fahrtrichtung beispielsweise entsprechend der Richtung des Hauptverkehrstroms geschaltet wird. In der schwächer belasteten Fahrtrichtung mit geringerer Störwahrscheinlichkeit wird der Fahrstreifen gemeinsam mit dem Kraftfahrzeugverkehr benutzt. Die stärker belastete Fahrtrichtung ist in der Regel morgens in Richtung Innenstadt zu finden und abends in der Gegenrichtung. Veranschaulicht ist der Ablauf des Richtungswechselbetriebs in der **Abbildung 12**.

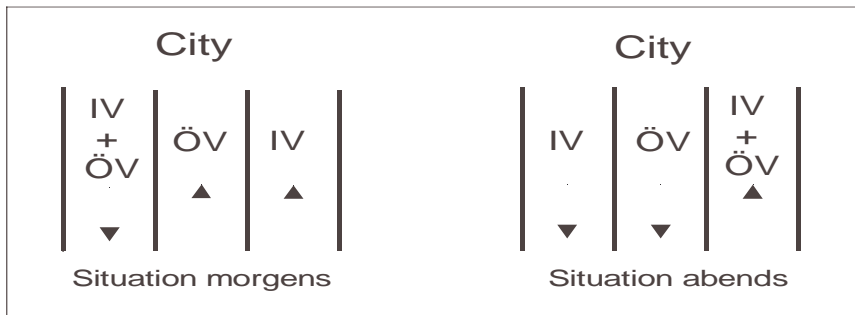


Abbildung 12: Ablauf des Richtungswechselbetriebs (ENDNICH)

Im Fall von Haltestellen auf einem Abschnitt mit Richtungswechselbetrieb bedarf es für Fahrten in der Mittellage der Anlage einer dynamischen Haltestelle, da auf diese Weise kein wechselnder Haltestandort des Transportsystems eingerichtet werden muss. Aus Sicherheitsgründen wäre bei der Halteposition in Mittellage mit Ankunft des Fahrzeugs ein lichtsignaltechnisch gesicherter Überweg der querenden Fahrgäste zu ermöglichen („Zeitinsel“). Ein höhengleicher Ein- und Ausstieg kann bei einer dynamischen Haltestelle im Richtungswechselbetrieb nicht eingerichtet werden. Anwendbar ist ein Richtungswechselbetrieb nur bei den spurfreien Transportsystemen Buszug und Busbahn.

Bei der Gestaltung von *Haltestellenanlagen* und ihrer Einpassung in den Straßenraum ermöglichen die Transportsysteme mit einem geringen Verkehrsflächenbedarf im Haltestellenbereich einen größeren Handlungsspielraum, um den örtlichen Belangen, die sich vor allem aus Flächenkonkurrenzen mit den anderen Verkehrsteilnehmern und gestalterischen Anforderungen ergeben, zu genügen. Das verkehrsplanerische Entwurfsrepertoire im Hinblick auf Standort und Typ ist allerdings vielfältig und bietet örtlich geeignete Lösungen für alle Transportsysteme an. Grundsätzlich sind die Sicherheit der Fahrgäste, das gestreckte, bordparallele Halten und der flüssige Betriebsablauf vorrangige Entscheidungskriterien. Im Haltestellenbereich kann die Breite der Fahrwege gegenüber der freien Strecke aufgrund der sehr geringen Fahrgeschwindigkeit und des damit eingeschränkten Lichtraumbedarfs reduziert werden. Die in etwa notwendigen Breiten sind in der **Tabelle 8** angegeben.

	Fahrzeugbreite	Richtungsfahweg in Mittellage	Gegenrichtungsfahweg in Mittellage
Buszug	2,55 m	3,00 – 3,25 m	6,00 - 6,50 m
Busbahn	2,55 m	3,00 m	6,00 m
Gummibereifte Straßenbahn	2,20 m	2,50 m	5,10 m
Straßenbahn	2,40 m	2,70 m	5,30 m

Tabelle 8: Mindestmaße von Fahrwegbreiten an Haltestellen,  $v_{zul} \leq 30$  km/h



**Bild 120: Unkonventionelle Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnanhebung. Die Wartefläche liegt im Seitenraum.**

Bei einem *ÖPNV-Fahrweg in Randlage* unterscheiden sich die Haltestellenanlagen der jeweiligen Transportsysteme im Wesentlichen darin, wie groß die verbleibende Nutzfläche für die Haltestellenausstattung und die Fahrgastwartefläche ist.

Bei einem *ÖPNV-Fahrweg in Mittellage* bedarf es dagegen einer differenzierteren Betrachtung: Für fahrgastfreundliche, jeweils seitlich angeordnete Haltestelleninseln werden je nach Fahrgastaufkommen Breiten zwischen 2,50 - 3,00 m benötigt. Bei beengten Verhältnissen ist diese Breite mit Transportsystemen, deren Flächeninanspruchnahme gering ist, leichter zu erreichen (Transportsysteme Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn). Eine Lösung, die sich bei engen straßenräumlichen Verhältnissen anbietet, ist hier das Versetzen der gegenüberliegenden Haltestellen. Dazu wird allerdings eine erhebliche Entwicklungslänge benötigt, um den Anforderungen einer fahrdynamischen Fahrbahnrandverziehung bzw. Gleisverziehung zu genügen. Die Anordnung einer platzsparenden, mittigen Haltestelleninsel erfordert Fahrzeuge, die über beidseitige Türen verfügen (Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn), sofern nicht auf einen Fahrbetrieb im Linksverkehr zurückgegriffen wird.

Die *dynamische Haltestelle mit Aufpflasterung* der MIV-Fahrbahn (Reduzierung des Geschwindigkeitsprofils, Schaffung eines höhengleichen Ein- und Ausstiegs) stellt bei einem Fahrweg in Mittellage schließlich einen Haltestellentyp dar, bei dem die Fahrwegbreite der freien Strecke bei allen Transportsystemen nicht erweitert werden muss, da sich die Wartefläche für Fahrgäste in den Seitenräumen befinden und dort teilweise die Gehwegbreite in Anspruch genommen werden kann (vgl. ANGENENDT/BRÄUER 2002, S. 53; **Bild 120**).

Der *Mindestkurvenradius* und die *Spurtreue* sind gemeinsam zu betrachten. Je kleiner der Mindestkurvenradius und je höher die Spurtreue, desto einfacher lässt sich ein Transportsystem in eine vorhandene Stadtstruktur mit ihren zahlreichen Zwangspunkten integrieren. Bei der Zielsetzung einer straffen Linienführung ergeben sich allerdings im Regelfall nur an wenigen Kreuzungen bzw. Einmündungen enge Abbiegeverhältnisse. Grundsätzlich ist zu bedenken, dass bereits Mindestradien von 15 m nur mit einer Fahrgeschwindigkeit kleiner als 20 km/h befahren werden können (bei einer Überhöhung von  $u = 0$  mm und einer Seitenbeschleunigung von  $a_R = 1,0 \text{ m/s}^2$ ), d. h. sie sollten nach Möglichkeit nur dort angewandt werden, wo unmittelbar vor oder nach dem Abbiegevorgang ohnehin eine Geschwindigkeitsverringerung erforderlich ist.

Die Transportsysteme Buszug und Busbahn erfüllen die Kurvenlauf Eigenschaften nach StVZO und entsprechen in ihrem fahrgeometrischen Bewegungsraum einem Standard-Gelenkbus. Bei der Kurvenfahrt beschreiben hierbei die Hinterräder des Fahrzeugs einen engeren Radius



als die Vorderräder. Dafür sind in Kurven die Fahrstreifen entsprechend der Schleppkurve zu verbreitern; Eckausrundungen von Knotenpunkten gemäß EAHV 93 können ohne Weiteres befahren werden. Vielfach kann durch Ausholen und Überstreichen der Gegenfahrbahn überdies auf eine Fahrstreifenverbreiterung in Kurven verzichtet werden, insbesondere dann, wenn ein rücksichtsvolles Verhalten der entgegenkommenden Fahrzeuge vorausgesetzt werden kann, wie in dem Fall einer ÖPNV-Eigentrasse. Bei dem Transportsystem Busbahn kommen teilweise auch Allradlenkungen zum Einsatz, d. h. es wird eine Straßenbahn-ähnliche Spurtreue erreicht (**Bild 121 u. 122**). Auch bei dem Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen können vergleichsweise enge Kurvenfahrten umgesetzt werden. Durch die automatische Querführung entfällt eine Schleppkurve, dafür sind aber die Bogenauschläge des Wagenkastens zu berücksichtigen.

Bei dem Transportsystem Straßenbahn sind in Sonderfällen Mindestradien von unter 25 m realisierbar. Diese engen Radien bedingen aber einen hohen Verschleiß an Radreifen und Fahrschiene sowie verstärkte Geräuschemissionen beim Durchfahren. Für Neutrassierungen sind nach BO-Strab letztlich nur Radien größer als 25 m zulässig, wobei der benötigte lichte Raum im Gleisbogen höchstens 0,65 m größer sein darf als in der Geraden. Daraus resultiert die oftmals notwendige Verjüngung der Fahrzeugenden sowie eine Längenbegrenzung der Wagenteile (**Bild 123 u. 124**).

#### • Auswirkungen Stadtbild

Bei der *Wahl der Oberbauform* ist im innerstädtischen Bereich neben den betrieblichen Anforderungen eine gründliche Abwägung städtebaulicher und verkehrlicher Belange zu berücksichtigen. Die Erfassung der straßenräumlichen Situation und eine örtliche Betrachtung der Nutzungsverträglichkeiten gibt Aufschluss über die im Einzelfall anwendbaren Oberbauformen der Transportsysteme.

Bei *straßenbündigen ÖPNV-Fahrwegkörpern* ist ein geschlossener Oberbau bei allen Transportsystemen anzuwenden. Eine Eindeckung des Oberbaues bildet hier (bei der Straßenbahn auf Höhe des Schienenkopfes) eine geschlossene Wegfläche, die den Nutzungsansprüchen aller Verkehrsteilnehmer gerecht wird (vor allem Fußgänger, Radfahrer, Kraftfahrzeugverkehr, Rettungsdienste).

Bei *besonderen ÖPNV-Fahrwegkörpern in Mittellage mit beiderseitigen einstreifigen Richtungsfahrbahnen* sollten aus Gründen einer guten Qualität des Verkehrsablaufs Ausweichmanöver des Kraftfahrzeugverkehrs auf den ÖPNV-Fahrwegkörper, ferner die Überquerbarkeit des Straßenraumes für Fußgänger möglich sein. Als Regeloberbauform wird demnach gleichfalls ein geschlossener Oberbau bei allen Transportsystemen vorzusehen sein.



**Bild 121:** Fahrbahnverbreiterung in einer Kurve für Buszüge, da der Begegnungsfall der Bemessung zugrunde gelegt worden ist. Bei einer Straßenbahn würden die Gleise trotz Mindestradien aus dem Knotenpunktbereich herauswandern.



**Bild 122:** Hervorragende Kurvenlaufeigenschaften bei einer Allradlenkung. Verkehrsraumsparend insbesondere beim Befahren enger Radien. (APTS)



**Bild 123:** Große Radien und Spurführung erfordern nur geringere Verbreiterung der Verkehrsräume. Begegnungsfall zweier Schienenbahnen.



**Bild 124:** Fahrzeugüberhänge und Wagenkastenauslässe bedingen auch bei Verjüngung der Fahrzeugenden Mehrbreiten bei der Kurvenfahrt.



**Bild 125:** Erst beiderseitige, überbreitete Richtungsfahrbahnen schaffen bei spurgeführten Systemen den Handlungsspielraum, auch offene Oberbauformen einzusetzen. (TAN)

Bei besonderen ÖPNV-Fahrgewegkörpern in Mittellage mit beiderseitigen überbreiten, einstreifigen oder mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen können nur bei den spurgeführten Transportsystemen auch offene Oberbauformen zum Einsatz kommen (Schotteroberbau, Feste Fahrbahn, Rasengleis; **Bild 125**). Die Zugänglichkeit gegenüberliegender Grundstücke kann für den Kraftfahrzeugverkehr über Wendefahrten sichergestellt werden.

In Fußgängerzonen ist bei dem Transportsystem Straßenbahn als stadtegalterischer Beitrag die Eindeckung mit Groß- oder Verbundpflaster ohne Weiteres umsetzbar. Als Deckschicht muss dagegen bei den gummbereiften Transportsystemen ein auf den Straßenraum abgestimmtes Oberflächenmaterial nach den Kriterien Stabilität, Verschleißarmut und vor allem Fugenebenheit ausgesucht werden. Als Tragschicht wäre gleichwohl bei allen Transportsystemen eine verformungsarme Betontragplatte empfehlenswert.



**Bild 126a:** Feste Fahrbahn mit Längsbetonbalken und tiefstehender, extensiver Begrünung. Diese Form der Begrünung ist äußerst pflegearm. (N.N.)

Durch eine *Begrünung der Trasse* („Rasengleis“) kann ein städtebaulich ansprechender Fahrweg geschaffen und auf diese Weise die Integration des Fahrwegs in den Straßenraum erleichtert werden. Eine Trassenbegrünung trägt zur Verbesserung des Kleinklimas bei und erfüllt je nach Ausführungsform und Zustand die Dämpfung der Geräuschentwicklung durch Schienenfahrzeuge. Dies bedingt andererseits jedoch einen relativ hohen Aufwand bei der Realisierung eines solchen Bahnkörpers, um beispielsweise die Schienen gegen Streustromkorrosion zu schützen, sowie erhöhten Aufwand bei Gleisinspektionen. Es ist örtlich zu überprüfen, in welchem Umfang dieser offene Oberbau, der insbesondere von den Rettungsdiensten nicht mitbenutzt werden kann, einsetzbar ist.



**Bild 126b:** Feste Fahrbahn mit Abrollstreifen für die Reifen einer gummbereiften Straßenbahn. Mittig liegt die Monoschiene.

Bei dem Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen können zumindest die Bereiche außerhalb der Abroll- und Querführungseinrichtungen begrünt werden (**Bild 126 a/b**). Bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn könnte zwar ebenfalls der Zwischenraum zwischen den Abrollspuren begrünt werden, aber der Aufwand ist ebenso wie die verbleibende Oberflächenversiegelung hoch. Der Winterdienst würde erschwert werden.

Um die Bedeutung der *Fahrzeugdimension* beurteilen zu können, müssen zunächst die Straßenräume der Trasse hinsichtlich Abmessungen (Breite, Höhe, Länge) und relativ durch deren Verhältnisse (Proportionen) erfasst werden. Je größer das Fahrzeugprofil in der Breite und der Höhe ist, desto aufdringlicher und störender wirkt das Transportsystem in Straßenräumen, besonders in solchen mit gassenartiger Raumwirkung. Ein gefälliges Design kann aber eine stadtverträgliche Integration fördern (**Bild 127 a/b**).



Das kleinprofilige Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen weist bei der Integration in räumlich engen Verkehrsstraßen oder Fußgängerzonen deutliche Vorteile auf. Bei dem Transportsystem Straßenbahn ergeben die Mindestbauhöhe der Fahrwerke und die dachseitig angeordnete elektrotechnische Ausrüstung eine größere Fahrzeughöhe. Bei dem Transportsystem Busbahn bedingt die elektrotechnische Ausrüstung auf dem Dach ebenfalls eine größere Fahrzeughöhe.

Bei dem Transportsystem Buszug und Busbahn kann die Fahrzeugbreite nicht verringert werden, da zum einen der Standardisierungseffekt der Großserie wegfiel und zum anderen das Fassungsvermögen stark reduziert wäre. Anders als bei den mechanisch quergeführten Transportsystemen kann eine geringe Fahrzeugbreite nicht über die Fahrzeuglänge, die über die StVZO beschränkt ist, kompensiert werden.

Da eine *Fahrdrahtanlage* kostenintensiv ist und vor allem die Fahrleitungsmastausführungen einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Stadtbild haben, wird vielfach angestrebt auf eine Fahrdrahtanlage zu verzichten. Grundsätzlich zeigt es sich aber, dass die Komponenten Oberleitung und Fahrleitungsmast funktionsgerecht der jeweiligen straßenräumlichen Situation angepasst werden können. Es steht eine breite Palette von Aufhängungsarten des Fahrdrahtes und stadtverträglichen Masttypen zur Verfügung (**Bild 128 a/b**). Im innerstädtischen Raum, vor allem dort, wo nicht mit Streckenhöchstgeschwindigkeit gefahren wird, ist der Hochkettenleitung die Einfachfahrleitung mit unterirdischer Speiseleitung vorzuziehen.

Bei dem Transportsystem Straßenbahn ist eine Fahrdrahtanlage zwingend notwendig. Bei dem Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen sind stattdessen kurze, fahrdrahtlose Abschnitte mit einer Traktionsbatterie realisierbar. Die Transportsysteme Buszug (dieselhydromechanischer Antrieb) und Busbahn (diesel-elektrischer Antrieb) benötigen keine externe Energieversorgung über eine Fahrdrahtanlage.

#### • Baubedingte Behinderungen

Grundsätzlich sollte *Leitungsfreiheit* bei allen Transportsystemen bestehen, um die Wahrscheinlichkeit von Störungen des Regelbetriebes durch Tiefbauarbeiten zu minimieren. Da vor allem Abwasserkanäle und Ferngasleitungen vorzugsweise in der Straßenverkehrsfläche verlegt sind, ist bei diesen unterirdischen Ver- und Entsorgungsleitungen auf eine abgeschlossene Sanierung und spätere Zugänglichkeit zu achten. Dies schließt je nach örtlichen Gegebenheiten auch eine aufwändige Leitungsverlegung nicht aus. Strom-, Gas- und Wasserleitungen sowie Fernmeldekabel werden in Gehwegen und Trennstreifen auf beiden Straßenseiten verlegt, so dass hier selten ein baulicher Konflikt besteht.



**Bild 127a: Designer-Straßenbahn, beachte stimmige Außenwirkung trotz größerer Fahrzeughöhe.**



**Bild 127b: Standard-Omnibus, beachte Bodenfreiheit, Fahrwerke, Dachaufbauten sowie Gestaltung der Gelenkverbindungen und Türöffnungen. Trotz geringerer Fahrzeughöhe wirkt das Fahrzeug wenig harmonisch.**



**Bild 128a: Funktionsgerechte Einpassung einer Einfach-Fahrdrahtanlage (Seilleitenaufhängung) in einen Straßenquerschnitt. Unauffällige Masten in Mittellage, unterirdische Speiseleitung.**



Bild 128b: Gut gestaltete doppel- polige Fahrdrachanlage für gum- mibereifte Fahrzeuge. Die Masten dienen sowohl der Befestigung der Oberleitung als auch dem Anbringen der Straßenbeleuchtung.

In jedem Fall ist Leitungsfreiheit im Bereich einer Straßenbahntrasse vorzusehen, da Verlegungen des Schienenweges und die Beseitigung bzw. Neuerstellung der Betontragplatte bei Tiefbauarbeiten an Ver- und Entsorgungsleitungen mit enormem Aufwand verbunden sind. Es käme zu übermäßigen Störungen des Regelbetriebs.

Das Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen sollte ebenfalls Leitungsfreiheit besitzen, um Störungen des Regelbetriebs von vornherein zu vermeiden, wenngleich der bauliche Aufwand insbesondere bei Abrollflächen aus Asphalt im Vergleich zum Transportsystem Straßenbahn (Betontragplatte) geringer einzustufen ist. Hier mag eine örtliche Untersuchung der Gegebenheiten (Umleitungsmöglichkeit auf parallelem Kfz-Fahrstreifen, Lage und Sanierungsbedarf der Ver- und Entsorgungsleitungen, vorhandene Lager- und Arbeitsflächen etc.) Aufklärung bringen, ob eine vollständige Leitungsfreiheit erforderlich ist.

Bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn sind Betonflächen zur Vermeidung von Spurrinnen vor allem im Bereich der Haltestellen empfehlenswert. Auf Leitungsfreiheit könnte dennoch verzichtet werden, da im Falle von Baumaßnahmen leicht eine Umfahrung und eine Ersatzhaltestelle eingerichtet werden könnte. Sofern eine spätere Umstellung auf eine Straßenbahn (auf Gummireifen) geplant ist, sollte bereits bei der Erstellung der Infrastruktur Leitungsfreiheit auch bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn angestrebt werden.



Bild 129: Orléans während des Straßenbahnbaus, Blick auf die Place du Martroi mit der Statue Jeanne d'Arc. Vergleiche auch mit Bild 118. (LA VIE DU RAIL)

Ehemalige Straßenbahnabschnitte, die für eine Neutrassierung herangezogen werden, haben oftmals den Vorteil, dass sie bereits leitungsfrei sind. Auch bei anbaufreien Trassen in nicht erschlossenen Teilabschnitten fallen keine Arbeiten zur Leitungsverlegung an.

*Störungen durch Baumaßnahmen*, vor allem Tiefbauarbeiten zur Verlegung von Abwasserkanälen und Ferngasleitungen, die in der Fahrbahn und nicht in den Seitenräumen verlegt werden, ziehen immer eine Störung der Anlieger, Eingriffe in das Geschäftsleben und eine Behinderung des Verkehrs nach sich (**Bild 129 u 130**). Der Umfang der Tiefbauarbeiten richtet sich nach der Art des Fahrwegs und der Notwendigkeit einer Leitungsfreiheit. Grundsätzlich ist eine Leitungsfreiheit auch bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn vorteilhaft, da im Falle von späteren Bau-, Reparatur- und Reinigungsarbeiten weder die Betriebsabwicklung behindert noch die Ebenheit des Fahrwegs durch Aufgrabungen gestört wird. Die Herstellung des Fahrwegs selbst gestaltet sich besonders zügig bei der Verwendung einer Asphaltbauweise mit Straßenfertiger (Transportsystem Buszug, Busbahn und Straßenbahn auf Gummireifen). Die einzelnen Asphalt-schichten sind unmittelbar nach ihrem Einbau befahrbar und können bereits während der Bauphasen für Baustellenverkehre genutzt werden.

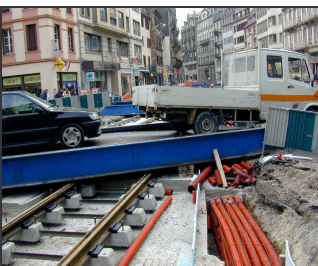


Bild 130: Behelfsbrücke über eine im Bau befindliche Straßenbahntrasse

Bei dem Transportsystem Straßenbahn auf Gummireifen können die Abrollflächen auch aus Beton hergestellt werden. Hierbei käme dann ein Gleitschalungsfertiger zum Einsatz, der bei beiden Richtungsfahrstreifen bereits den Längskanal für die Monoschienen ausspart. Die Errichtung des Schienenfahrwegs der Straßenbahn, angefangen mit Tiefbauarbeiten zur Herstellung der Leitungsfreiheit, Betontragplatte mit Gleisrost und anschließender Eindeckung bedingt eine verhältnismäßig lange Baudauer und einen wesentlich größeren Bauaufwand, als es bei den anderen Transportsystemen notwendig wäre.



Bild 131: Bei guter Fahrbahnqualität ermöglichen gummibereifte Fahrwerke die Mitbenutzung von vorhandenen ÖPNV-Sonderfahrstreifen. (LA VIE DU RAIL)

Die *Mitbenutzung von Verkehrsstraßen* ohne umfassende Umbaumaßnahmen kann bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn auf den Streckenabschnitten in Erwägung gezogen werden, wo kein eigener ÖPNV-Fahrweg realisiert werden kann oder die Anlage eines eigenen Fahrwegs aufgrund einer geringen Kraftfahrzeugverkehrsstärke nicht notwendig erscheint. Voraussetzung dafür ist ein guter Zustand der Fahrbahnoberfläche, der einen hohen Fahrkomfort erlaubt. Bereits vorhandene ÖPNV-Sonderfahrstreifen können ebenfalls ohne Umbaumaßnahmen genutzt werden (**Bild 131**). Im Vergleich zum vollständigen Streckennetz sind aber die Streckenabschnitte, wo eine Erneuerung der Fahrwegkonstruktion und eine Umgestaltung des Straßenraumes gänzlich entfallen kann, erfahrungsgemäß eher von geringer Länge.

Bei der Straßenbahn auf Gummireifen kann die Monoschiene nur in eine vorhandene, in hohem Maße ebene Fahrwegkonstruktion eingebaut werden, sofern der Nachweis erbracht worden ist, dass der Fahrkörper eine hohe Verformungsstabilität gegen Spurrinnenbildung aufweist. Zumindest eine Anbindung an den Betriebshof könnte so aufwandsarm hergerichtet werden.

## 5.7 Wirtschaftliche Auswirkungen

Zweifellos sind die Kosten der unkonventionellen Transportsysteme aufgrund zahlreicher ortsspezifischer Besonderheiten starken Schwankungen unterworfen und können entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall erheblich von angegebenen Durchschnittswerten abweichen. Die Auswertung der Anwendungsbeispiele in Utrecht, Rouen, Eindhoven und Clermont-Ferrand zeigen dabei nicht nur Differenzen in der absoluten Höhe der Kosten, sondern es sind auch prinzipielle Unterschiede in der Kostenstruktur festzustellen. Selbst im Verlauf eines Linienweges treten verschiedenartige Kostenstrukturen durch teilstreckenspezifische Ausbaumaßnahmen auf (angebaute oder anbaufreie Bereiche, Umfang von Tiefbauarbeiten, städtebaulicher Qualitätsanspruch, Emissionsstandards, Sonderbauwerke etc.).

Beachtenswert ist, dass sich bei einer genauen Betrachtung der Kostenstruktur in den untersuchten Städten nun auch bei den busorientierten Transportsystemen straßenbahntypische Kostenelemente feststellen lassen. Während heute in die Kosten des Busbetriebes vorzugsweise die Fahrzeuge selbst, der Fahrzeugbetrieb und einige Sonderbetriebseinrichtungen einbezogen werden, erfordert eine Betrachtung als *System* auch eine anteilige Berücksichtigung der Kosten besonderer Fahrwege einschließlich der Haltestellenanlagen sowie der Telematiksysteme. Im Gegensatz zu einem Straßenbahnsystem ist aber immerhin die Kostenstelle einer aufwändigen Bahnbetriebshofanlage sowie die einer Fahrdrahtanlage nicht zu berücksichtigen.

Die im Folgenden dargestellten wirtschaftlichen Auswirkungen der Transportsysteme zwischen Bus und Bahn lassen sich beschreiben über die absolute Investitionshöhe, die Planungskosten, das Erfordernis und den Umfang einzelner Kostenstellen sowie die Instandhaltungs- und Fahrzeugbetriebskosten (**Tabelle 9**).

Bewertungsebene	Zielfeld	Bewertungskriterium	Beschreibungsgrößen
 Wirtschaftliche Auswirkungen	Finanzierungsvorleistung	Investitionshöhe des Gesamtsystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchschnittliche Systemkosten</li> <li>• Förder- und Finanzierungsinstrumente</li> </ul>
	Niedrige Planungskosten	Planungsaufwand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planungs- und Abstimmungskosten</li> <li>• Kosten der Neuordnung und -gestaltung des Straßenraumes</li> <li>• Fahrweg-, Tiefbau- und Grunderwerbskosten</li> </ul>
	Angemessene Investitionskosten	Erfordernis und Umfang der einzelnen Kostenstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrzeugbeschaffungskosten</li> <li>• Kosten der Betriebshofanlage</li> <li>• Kosten der Fahrstromversorgung</li> <li>• Technologiekosten der Kommunikations-, Informations-, Ortungs- und Leitsysteme</li> </ul>
	Kalkulierbare Fahrzeugbetriebs- und Unterhaltungskosten	Instandhaltungs- und Betriebsaufwand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauliche Instandhaltungskosten</li> <li>• Fahrzeugbetriebskosten</li> </ul>

**Tabelle 9: Wirtschaftliche Bewertungskriterien mit Beschreibungsgrößen**

#### • Investitionshöhe des Gesamtsystems

Es ist nicht leicht, *durchschnittliche Systemkosten* einer neuen Straßenbahnstrecke zu beziffern. Die Investitionshöhe wird nachfolgend mit 15 Mio. EUR je Strecken-km angenommen, wobei sich dieser Kostenwert allerdings weniger an den aktuellen französischen Systemimplementierungen orientiert (**Tabelle 10**). Auf diesen Wert beziehen sich auch die nachstehenden prozentualen Anteile der Kostenstruktur. Als Zielgröße des französischen Systemanbieters ALSTOM werden übrigens für ein Straßenbahnsystem, welches sich weitestgehend an standardisierte Elemente anlehnt, rund 12-13 Mio. EUR je Strecken-km (ohne Leitungsverlegungen) angestrebt (2002). Im Gegensatz hierzu



weisen die Anwendungsbeispiele der busorientierten Transportsysteme geringere durchschnittliche Systemkosten auf, obgleich deren durchgängige Eigentrasse ebenfalls städtebaulich integriert sind. Aber auch hier werden günstigstenfalls 5 Mio. EUR je Strecken-km kaum unterschritten.

Stadt	Eröffnung	Linie	Länge	Mio. EUR/km
Bordeaux	2003	Linie 1, 2, 3	27,0 km	23,0
Lyon	2000	T 1, 2	18,7 km	18,7
Montpellier	2000	Linie 1	18,0 km	18,6
Nantes	2000	Linie 3	10,0 km	19,0
Orléans	2000	Linie 1	18,0 km	15,8
Straßburg	1994	Linie A	12,6 km	19,5
Valenciennes	2003	Linie 1	9,4 km	19,4

**Tabelle 10: Durchschnittliche Systemkosten der neueren französischen Straßenbahnsysteme (Kosten nach LE Roux 2001)**

Generell darf man sich aber nicht nur auf Kosten beschränken, um die Wirtschaftlichkeit einer Systemimplementierung beurteilen zu können. Ebenso ist auch der äußerst vielfältige Nutzen eines Transportsystems mit einzubeziehen. Er reicht bei den hier betrachteten Transportsystemen zwischen Bus und Bahn stets von der Verbesserung der Verkehrsverhältnisse, Steigerung öffentlicher und privater Sekundärinvestitionen, Wertzuwachs im Immobilienbereich, Reduktion von Unfallzahlen über weitreichende städtebauliche Neubautätigkeit und Wiederbelebung bis hin zu umfassender Sicherung von Arbeitsplätzen in zahlreichen Bereichen. Vor allem bei den busorientierten Transportsystemen muss hierzu aber großer Wert auf eine kontinuierliche und ablesbare Trassenführung im Straßenraum gelegt werden, was eine Straßenbahn-ähnliche Umsetzung von umfassenden baulichen Infrastrukturanpassungen voraussetzt.

Bei den maßgeblichen *Förder- und Finanzierungsinstrumenten* sind Abstimmungen auf Länderebene unter Einbindung des Aufgabenträgers einzelfallspezifisch durchzuführen. Die Verteilung der Kosten auf verschiedene Baulastträger und die Förderfähigkeit entsprechend den ländereigenen Regionalisierungsgesetzen ist hier von wesentlichem Einfluss auf die Finanzierbarkeit eines Transportsystems.

Aus Sicht des Aufgabenträgers wird es grundlegend sein, dass GVFG-Zuschüsse in Höhe von bis zu 85% der Investitionskosten für den Bau kommunaler Verkehrsanlagen eingerechnet werden können – Voraussetzung ist hierfür eine bauliche Separierung der ÖPNV-Infrastruktur vom allgemeinen Straßenverkehr. Dies gilt unabhängig von dem gewählten Transportsystem. Die bisherige Fahrzeugförderung nach GVFG liegt für Schienenfahrzeuge – dazu wird im förderrechtlichen Sinne auch die Straßenbahn auf Gummireifen gehören – im Regelfall bei 50%; bei den anderen unkonventionellen Fahrzeugtypen zwischen Bus und Bahn sind bislang noch keine Festlegungen getroffen worden. Es ist zu überlegen,



Busbahnen als „Bahn besonderer Bauart“ einzuordnen, um eine bahnähnliche Förderung zu erhalten. Aufgrund der Finanznot der öffentlichen Hand ist das Fortbestehen der bisherigen ÖPNV-Förderpraxis nicht mehr dauerhaft gesichert.

- **Planungsaufwand**

Die *Planungs- und Abstimmungskosten* können bei allen Systemen überschläglich mit 10% der gesamten Baukostensumme abgeschätzt werden. In der absoluten Kostensumme liegen damit die Planungs- und Abstimmungskosten aufgrund der geringeren Investitionshöhe bei einem busorientierten Transportsystem niedriger als bei einem Straßenbahnsystem.

- **Erfordernis und Umfang der einzelnen Kostenstellen**

Die *Neuordnungs- und -gestaltungskosten* des Straßenraumes stellen bei einer angebauten Streckenführung im Regelfall die größte Kostengruppe dar. Bei Straßenbahnsystemen kann diese Kostengruppe immerhin ein Drittel, bei städtebaulich anspruchsvollen Streckenabschnitten sogar die Hälfte der durchschnittlichen Systemkosten verursachen. Deutlich hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass eine Straßenbahn zwar den Anlass der Neuordnung darstellt, hier aber keineswegs ein technischer Zwang vorliegt, der eine umfassende städtebauliche Erneuerung erfordern würde. Die Qualität eines Straßenraumentwurfs, die vorrangig geprägt wird durch Orientierung, ortsgerechte Gestalt sowie Anregungen und Schönheit, kann bei den untersuchten Transportsystemen zwischen Bus und Bahn gleichermaßen einen hohen städtebaulich zu vertretenden Kostenanteil bedingen (**Bild 132 a/b u. 133**).

In der EAHV 93 wird darauf hingewiesen, dass generell Kosteneinsparungen insbesondere durch Flächenreduzierungen, sparsame Entwurfs- und Baustandards (Intensität der Umgestaltung, Material- und Elementewahl, Ausführungsart, Beschränkung der Vielfalt, Wiederverwendung) und daraus folgend niedrige Herstellungskosten erreicht werden können. Dabei ist zu prüfen, ob sich solche Beschränkungen nicht ungünstig auf die Betriebs- und Unterhaltungskosten auswirken können.

Die *Investitionskosten im Bereich des Fahrwegs, Tiefbaus und Grunderwerbs* betragen erfahrungsgemäß 20% der durchschnittlichen Systemkosten einer Straßenbahn. Im Vergleich zu den Transportsystemen zwischen Bus und Bahn sind hierbei in erster Linie unterschiedliche Kostenwerte im Bereich der Fahrwegkonstruktion festzustellen. Typische systemspezifische Kostenkennwerte sind im Anhang E, Fahrwegkonstruktionen, aufgeführt. So kostet die Erstellung eines schwingungsgedämpften, kontinuierlich gelagerten Straßenbahngleises mit Kammerfüllkörper aus Kunststoff rund 1,3 Mio. EUR je Strecken-km (**Bild 134**). Der hierauf bezogene Kostenfaktor für eine ebenfalls zwei-



Bild 132a: Straßenraum mit geringer Aufenthaltsqualität. (CTS)



Bild 132b: Gelungene, wenngleich kostenintensive Neuordnung und -gestaltung des Straßenraumes – Beispiel Straßburg. (CTS)



Bild 133: Ein qualitativvoller Straßenraumentwurf beinhaltet die Neugestaltung von Fassade zu Fassade, was aber zweifellos mit sehr hohen Kosten verbunden ist – Beispiel Nantes. (TAN)

spurige Asphaltstraße mit besonderem Bindemittel kann mit 0,4 angegeben werden, der für eine Straßenbahn auf Gummireifen läge bei einer Fahrbahn in Beton-Gleitschalungstechnik bei 0,8. Bei der Interpretation der dargestellten systemspezifischen Kostenfaktoren ist stets einzubeziehen, dass bei Bussystemen auch teilweise das existierende Straßennetz mitbenutzt werden kann und dadurch – bezogen auf die Gesamtstrecke – die Wegekosten gegenüber einem Bahnsystem weiter sinken können.

Die weiteren, anteiligen Kostensätze der erforderlichen Tiefbauarbeiten (Entwässerung, Leitungsfreiheit etc.), Grunderwerbskosten sowie Nebenkosten sind ortsspezifisch abzuschätzen. Beim Neubau von Trasse und Straßenräumen sollten die Herstellungskosten immer durch eine zeitliche und organisatorische Abstimmung der Maßnahmen mit anderen Vorhaben (Kanalbau, Leitungsbau) verringert werden.

Um die *Fahrzeugbeschaffungskosten* eines Systems bestimmen zu können, muss bei allen Transportsystemen die Umlaufzeit und die Taktfolge bekannt sein. Üblicherweise kann hier aber auch mit einem Überschlagswert von 1,5 bis 2 Fahrzeugen je Strecken-km gerechnet werden.



Bild 134: Allenfalls bei anbaufreien Trassen können die Fahrweg-, Tiefbau- und Grunderwerbskosten der einzelnen Transportsysteme objektiv miteinander verglichen werden.

System	Order (Option)	Abmessungen [m]	Stückpreis [EUR]	EUR/m <sup>2</sup>	
<b>Bustechnologie</b>					
Standard-Omnibus -	~15	12,00x2,55	180.000	5.900	
Standard-Gelenkbus	~15	18,00x2,55	275.000	6.000	
Standard-Doppelgelenkbus	~15	24,80x2,55	350.000	5.600	
Doppelgelenkbus	~15	24,80x2,55	630.000	10.000	
<b>100%-NF-Straßenbahn (nach HONDIUS 2002/c, S. 20)</b>					
Systemfahrzeug Combino	Amsterdam	151 (-)	29,20x2,40	1.470.000	21.000
Systemfahrzeug Combino	Ulm	8 (2)	31,00x2,40	1.960.000	26.400
Systemfahrzeug Combino	Posen	14 (10)	29,30x2,40	2.000.000	28.400

Tabelle 11: Fahrzeugbeschaffungskosten

Die Beschaffungskosten liegen bei einem diesel-hydraulisch angetriebenen Doppelgelenker mit hochwertiger Ausstattung bei rund 0,4 Mio. EUR; bei einem elektrisch angetriebenen, fünfteiligen 100%-NF-Multigelenkschienenfahrzeug betragen die Kosten schätzungsweise 1,6 Mio. EUR. Die Tendenz zum Maßprodukt, ein elektrischer Antrieb, die längere Nutzungsdauer sowie aufwändige Fahrwerke bedingen einen deutlichen Kostensprung. Bei allen Sonderfahrzeugen hängen die Kosten darüber hinaus stark von der Konkurrenzsituation bei einer Ausschreibung sowie von der bestellten Stückzahl ab, so dass selbst für die gleiche Bauart teilweise sehr unterschiedliche Preise zu zahlen sind (Beispiel Combino, **Tabelle 11**). Weitere Kostenangaben sind in der **Tabelle 1** enthalten.



**Bild 135:** Betriebshof und Werkstätten stellen eine bedeutende Kostengruppe bei der Neueinführung eines Straßenbahnsystems dar. (VDV)

Eine *Betriebshofanlage* ist bei den bahnorientierten Transportsystemen neu zu erstellen (**Bild 135**). Bei einem Straßenbahnsystem kann hier pauschal mit rund 30 Mio. EUR gerechnet werden. Bahnmotoren-, Elektrogeräte-, Stromabnehmer- und Fahrgestellarbeiten können als Fremdleistung vergeben werden, so dass die entsprechenden Fachabteilungen im Werkstattbereich nicht vorgehalten werden müssen. Man braucht dagegen auf jeden Fall: Wartungs-, Inspektions-, Montage-, Pflege-, Radreifendreh-, Kleinreparatur-, Hebe- und Reinigungsstände sowie Tauschteile- und Verschleißteilleger.

Die gesamte Fahrzeuganzahl spielt eher eine untergeordnete Rolle, da Abstellfläche vergleichsweise kostengünstig vorgehalten werden kann. Ersten Schätzungen zufolge liegt der Kostenaufwand beim Neubau eines Betriebshofs einer gummibereiften Straßenbahn um 20% günstiger. Bei den busorientierten Transportsystemen können dagegen auch die vorhandenen Betriebshofanlagen weitergenutzt werden. Bei dem Transportsystem Busbahn fallen allerdings aufwändige Anpassungsarbeiten im Werkstattbereich an.



**Bild 136:** Kostenersparnis durch vorinstallierte Unterwerke (ALSTOM)

Die *Fahrstromversorgung* schließt die Installation einer Fahrleitungsanlage einschließlich der Gleichrichterunterwerke ein (**Bild 136**). Unabhängig von dem gewählten Transportsystem kann hier bei einer in das Stadtbild eingepassten Fahrleitungsanlage mit mindestens 0,6 Mio. EUR je Strecken-km (einschließlich Unterwerke, Projektierungskosten etc.) kalkuliert werden. Bei den Transportsystemen Buszug und Busbahn entfallen die Kosten für eine Fahrstromversorgung.

Die *Kosten im Bereich der Telematiksysteme* können bei hohen Qualitätsstandards durchaus zwischen 1,0-1,5 Mio. EUR je Strecken-km betragen und machen damit bis zu 10% der durchschnittlichen Systemkosten einer Straßenbahn aus. Diese Kosten können als systemspezifisch unabhängig angesehen werden und sind auch auf die anderen Transportsysteme zwischen Bus und Bahn in dieser Höhe übertragbar. Die eingesetzten Technologien der Kommunikations-, Informations-, Ortungs- und Leitsysteme dienen hierbei der Beeinflussung von Lichtsignalanlagen bzw. sind Grundlage der rechnergestützten Betriebsleitsysteme und ermöglichen elektronische Fahrgastinformationssysteme bzw. Zahlungs- und Fahrgeldmanagementsysteme. Zu berücksichtigen sind auch die Kosten der ortsfesten, elektromechanischen Anlagen (Fahrkartenautomaten, dynamische Anzeigen etc.; **Bild 137**).



**Bild 137:** Hochwertige Haltestellenausstattung u. a. mit Fahrkartenautomat und dynamischer Fahrgastinformation

#### • Instandhaltungs- und Betriebsaufwand

Auch die *baulichen Instandhaltungskosten* der Fahrwege und ihre unterschiedlichen Nutzungsdauern schließen ohne Kenntnis der konkreten Trasse einen objektiven Vergleich systemspezifischer Kennwerte aus. Es ist aber zu erwarten, dass beispielsweise ein Betonfahrweg für die Systeme zwischen Bus und Bahn praktisch wartungsfrei ist, während

bei den Gleisrosten der Straßenbahn Kosten für die Instandhaltung und je nach Verschleißerscheinungen von Zeit zu Zeit gegebenenfalls auch Schienenerneuerungen einkalkuliert werden müssen.

Berücksichtigt man die jährlichen Kosten für die Instandhaltung und schließt auch anteilige Wiederherstellungskosten für die Erneuerung der Fahrkörper und Fahrleitungsanlage nach Ablauf der Nutzungsdauer mit ein, werden für busorientierte Transportsysteme mittlere jährliche Kosten von über 20.000 EUR je Strecken-km für eine Betonstraße mit einer Nutzungsdauer von 60 Jahren abgeschätzt. LEUTHARDT (2000, S. 16) ermittelt ohne besondere Bauwerke wie Tunnel oder Brücken bei Straßenbahnen normierte Wegekosten von ungefähr 110.000 EUR je Strecken-km und Jahr und setzt hierbei eine Nutzungsdauer von 35 Jahren voraus. Zusätzlich liegen die Instandhaltungskosten der Fahrleitungsanlage je Strecken-km und Jahr bei über 20.000 EUR bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren.

Belastbare *Fahrzeugbetriebskosten* können nur für ein Buszug-Transportsystem sowie ein Straßenbahnsystem kalkuliert werden. Bei dem Transportsystem Busbahn und Straßenbahn auf Gummireifen ist eine kostenmäßige Darstellung nicht möglich, da zum einen noch kein Fahrgastbetrieb durchgeführt wird und zum anderen auch erst eine Anlaufphase bis zur vollen Betriebsreife überwunden werden müsste. Es ist aber abzusehen, dass sich die Fahrzeugbetriebskosten mehr oder weniger zwischen dem Buszug-Transportsystem und einem Straßenbahnsystem einpendeln werden.

Üblicherweise gibt es bei den Fahrzeugbetriebskosten zwei maßgebliche Kosteneinflussgrößen: Personalaufwand und Beschaffungskosten der Fahrzeuge. Bei den personellen Grundgrößen kann die Anzahl der Fahrer bei allen Transportsystemen mit 2,5 Fahrern je Fahrzeug gleichgesetzt werden. Aufgrund der hohen Komplexität elektrischer Schienenfahrzeuge und auch der langen Nutzungsdauer werden hier allerdings nach einer Aufstellung von LEUTHARDT (2000, S. 15) insgesamt sechs bis sieben Personen pro Triebwagen benötigt; bei Buszügen kann dagegen der Personalaufwand auf insgesamt vier Personen pro Fahrzeug abgegrenzt werden (einschließlich Fahrpersonal). Eine der wichtigsten Ursachen für eine hohe Differenz der Jahresbetriebskosten zwischen Buszug und Straßenbahn liegt damit in dem wesentlich höheren Personal-pro-Fahrzeug-Verhältnis. Die Differenz bei der Abschreibung der Fahrzeuge ist aufgrund der stark voneinander abweichenden Beschaffungskosten ebenfalls markant. Eigenen Berechnungen zufolge liegen demnach bei einer Fahrzeugjahresleistung von 60.000 km/Jahr die *idealtypischen* Fahrzeugbetriebskosten beim Buszug bei 5 EUR je Fahrzeug-km, bei einer Straßenbahn im 30-m-Bereich bei über 9 EUR je Fahrzeug-km (**Tabelle 12**). Es zeigt sich damit, dass Straßenbahnen ihren Personalwirkungsgrad im Bereich des Fahrdienstes ausspielen müssen, damit die Fahrzeugbetriebskosten im Vergleich zu einem Buszug-Transportsystem akzeptierbar sind.



Bei den Transportsystemen Busbahn und Straßenbahn auf Gummireifen muss in jedem Fall zwischen der Inbetriebnahme und der Betriebsreife mit einem hohen Personalaufwand gerechnet werden. Vor allem aufgrund der gummibereiften Fahrwerke und der andersartigen Fahrwege könnte im Vergleich zur Straßenbahn bei einem eingespielten Betrieb mit geringeren personellen Grundgrößen gerechnet werden.

Technische Daten		Dimension	Buszug	Straßenbahn	
Breite		m	2,50	2,40	
Länge		m	25,00	29,00	
Höhe		m	2,90	3,50	
Gewicht (leer)		t	21,00	35,00	
Antriebsart		-	diesel	elektrisch	
Pos.	Basisdaten pro Fahrzeug	Dimension			
1	Kaufpreis	EUR	350.000	1.600.000	
2	GVFG-Fördermittel	%	0	0	
3	Tatsächlicher Anschaffungspreis	EUR	350.000	1.600.000	
4	Nutzungsdauer	Jahre	10	25	
5	Restwert nach Nutzungsdauer	EUR	35.000	160.000	
6	Umlaufkapital	EUR	10.800	18.000	
7	Durchschnittliche Kapitalbindung	EUR	192.500	880.000	
8	Betriebsnotwendiges Kapital	EUR	203.300	898.000	
9	Kalk. Zinssatz	%/Jahr	8,5	8,5	
10	Abschreibungsaufteilung	%/%	50/50	50/50	
11	Einsatztage	Tage/Jahr	300	300	
12	Kilometerleistung	Fzg.-km/Jahr	60.000	60.000	
13	Energieverbrauch	kWh/km	-	4,1	
14	Kraftstoffverbrauch	Liter/100km	55	-	
15	Energiepreis	EUR/kWh	-	0,052	
16	Kraftstoffpreis	EUR/Liter	0,72	-	
17	Kaufpreis der Reifen	EUR	3.405	-	
18	Reifenlaufleistung	km	69.000	-	
19	Anzahl der Sitzplätze	Plätze	45	45	
20	Anzahl der Stehplätze	Plätze	95	120	
21	Gesamtkapazität	Plätze	140	165	
Fixe Kosten pro Jahr		Dimension			
22	Entwertung	EUR/Jahr	18.459	41.328	
23	Kapitalverzinsung	EUR/Jahr	17.281	76.330	
24	Kfz-Steuer	EUR/Jahr	0	0	
25	Haftpflicht- u. Kaskoversicherung	EUR/Jahr	2.900	3.825	
26	Personal pro Fahrzeug (einschließlich Fahrer)	Pers.	4,0	6,5	
27	Kosten	EUR/Jahr	46.000	46.000	
28	Gesamte Personalkosten	EUR/Jahr	184.000	299.000	
29	Sonstiges	EUR/Jahr	17.400	37.000	
Summe fixe Kosten/Jahr			EUR/Jahr	240.040	457.483
Summe fixe Kosten/Fzg.-km			EUR/Fzg.-km	4,00	7,62
Variable Kosten pro km		Dimension			
30	Abnutzung	EUR/Fzg.-km	0,31	0,69	
31	Kraftstoff-/Energiekosten	EUR/Fzg.-km	0,40	0,21	
32	Reparatur- und Wartungskosten	EUR/Fzg.-km	0,35	0,70	
33	Reifenkosten	EUR/Fzg.-km	0,049	-	
Summe variable Kosten/Jahr			EUR/Jahr	1,10	1,60
Summe variable Kosten/Fzg.-km			EUR/Fzg.-km	66.180	96.120
Gesamtkosten pro Fahrzeug		Dimension			
35	Kosten/Jahr	EUR/Jahr	306.219	553.603	
36	Kosten/Fzg.-km	EUR/Fzg.-km	5,10	9,23	
37	Kosten pro Platzkilometer	EUR/Pl.-km	0,036	0,056	

Tabelle 12: Idealtypische Kalkulation der Fahrzeugbetriebskosten Buszug/Straßenbahn, ohne GVFG-Fördermittel (ROTTMANN/DEUTSCH)



## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Bus Rapid Transit, Busbahn, Dual-Mode-Bus-Systeme und Tramway sur Pneus – hinter diesen Bezeichnungen stehen unkonventionelle Transportsysteme, deren Ziel eine eigene aufwandsarme Infrastruktur unter Verwendung der kostengünstigen Bustechnologie ist, und die darüber hinaus das positiv belegte Image einer Straßenbahn vermitteln und damit die Attraktivität und Akzeptanz des ÖPNV steigern wollen. Ausgehend von dem Großserienprodukt Bus soll eine eigenständige Verkehrskategorie gebildet und der große Qualitätsunterschied zwischen dem konventionellen Omnibus und der Straßenbahn überbrückt werden. Geworben wird mit berührungsfreien Spurregelungen, Monoschieneführung, Brennstoffzelle, elektronischer Deichsel, elektrischem Antrieb mit Speichermedien, bimodalen Fahrwerken, auffälligem Design und vielem mehr.

In dieser Aufbruchsstimmung ist bisher die Frage unbeantwortet geblieben, bei welcher verkehrsplanerischen Aufgabenstellung der Einsatz dieser innovativen Transportsysteme *zwischen Bus und Bahn* überhaupt geeignet ist und welche Rolle sie auf dem Weg zur Bewältigung unserer Verkehrsprobleme einnehmen können. Die aktuellen und geplanten Systeme in Utrecht, Rouen, Eindhoven, Clermont-Ferrand und Orléans bieten nun die Möglichkeit, zum einen erste Anwendungsfälle dieser innerstädtischen Transportsysteme zwischen Bus und Straßenbahn näher zu untersuchen, und zum anderen einen frühen Eindruck über den Stand der Betriebsreife zu gewinnen.

Leider konnte im Rahmen dieser Forschungsarbeit auf wünschenswerte Vergleichsdaten, die den Nutzen der Systeme widerspiegeln – wie beispielsweise die Entwicklung der Fahrgastzahlen, Wertsteigerungen der Anliegergrundstücke oder Veränderungen beim Modal Split – nicht zurückgegriffen werden, da bei den neuartigen Transportsystemen die Systemeinführungen einschließlich der städtebaulichen Neuerschließungen bei weitem noch nicht abgeschlossen sind. Hier muss man sich noch gedulden, bis Vorher-Nachher-Untersuchungen Aufschluss über Folgewirkungen geben. Eine Befragung der Planungsbeteiligten vor Ort hat aber dazu beigetragen, heute schon zumindest ein tendenzielles Urteil über die Vor- und Nachteile der neuen Verkehrsmittel und ihre Einsatzchancen zu gewinnen und punktuelle Resultate der noch laufenden Betriebseinführungen gegenüberzustellen.

**Die klassischen Verkehrsmittel Omnibus und Straßenbahn sollen ergänzt werden**

**Beurteilung der Chancen und Risiken – Einsatzmöglichkeiten der neuartigen Transportsysteme**

**Für ein Urteil über die Folgewirkungen der neuartigen Transportsysteme ist es noch zu früh**

**Neuartige Busse mit  
eigenen Straßenanlagen  
als „System“-Verkehrsmittel**

Was sind nun die hervorstechenden Merkmale der innovativen Verkehrsmittel und ihrer Systemeinführungen: Es kommen besondere, technisch innovative Fahrzeuge mit ansprechendem Fahrkomfort zum Einsatz, die unbehindert und bevorrechtigt auf einer hochwertigen Streckeninfrastruktur mit einer behindertengerechten Haltestellengestaltung sowie einem übergreifenden Informations- und Leitsystem eingesetzt werden. Für den Betrieb der neuartigen Busse gilt der Leitgedanke „Fahrzeug und Fahrweg als System“, genauso wie wir es – allerdings aus der technischen Notwendigkeit heraus – von Schienenverkehrsmitteln her kennen. Darüber hinaus finden besonders der ergänzende Zubringer- und Verteilverkehr, Park-and-Ride-Anlagen, städtebauliche und raumordnerische Zielsetzungen sowie unterstützende Marketingaktivitäten zur Imagebildung Beachtung – wie dies ebenfalls bei einer modernen Straßenbahnplanung der Fall wäre. In Abgrenzung zum klassischen Linienbusverkehr, der an Straßenverkehr und Stau gebunden ist, nur lückenhaft über eigene Betriebsanlagen im öffentlichen Straßennetz verfügt und meist nur dort eine Aufwertung erfährt, wo die Bezuschussungsfrage geklärt wurde und die Einzelmaßnahme keine verkehrspolitische Diskussion nach sich zieht, werden die in der Forschungsarbeit untersuchten Verkehrsmittel deshalb als „Transportsysteme auf Gummireifen“ – die Betonung liegt auf „System“ – bezeichnet.

**Viele Fahrgäste, Systemgedanke  
und Einbindung in  
ein Gesamtverkehrskonzept**

Transportsysteme – unabhängig ob Rad/Schiene-Technik oder Bustechnologie – stellen vor allem dann eine angemessene Lösung dar, wenn ein ausreichend hohes Verkehrsvolumen entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit zu befördern ist. Folglich stehen bei diesen neuartigen Systemen ausschließlich die nachfragestärksten Verkehrskorridore in Verdichtungsräumen mit über 200.000 Einwohnern im Vordergrund. Eine wichtige technische Voraussetzung für eine Neuorientierung auf die Verkehrskorridore mit den höchsten Fahrgastzahlen ist dabei die Entwicklung kapazitätsstarker Busse im 25-m-Bereich! Man kann sich deshalb auf wenige Durchmesserlinien konzentrieren und hier eine hochwertige Streckeninfrastruktur mit einem hohen Wiedererkennungswert über den gesamten Linienweg aufbauen. Auf diesen Magistralen entstehen so völlig neue Vorrangsysteme, gerechtfertigt durch ein sehr hohes Fahrgastaufkommen und entsprechend enger Zugfolge, gekennzeichnet durch betriebliche Qualitätsstandards wie eine hohe Reisegeschwindigkeit und ein hohes Maß an Sicherheit und Pünktlichkeit – und vor allem mit dem Anspruch, sich als vorrangiger Partner im Umweltverbund innerhalb eines weitreichenden städtischen Gesamtverkehrskonzepts zu etablieren. Die Forschungsarbeit zeigt, dass diese Neuorientierung – ausgewählte Verkehrskorridore mit hohem Fahrgastaufkommen, Zusammenwirken von Fahrzeug, Fahrweg, Haltestelle und Betriebsleitsystem sowie die Integration in ein Gesamtverkehrskonzept – die Chance auf politische Rückendeckung bietet.

Noch ein Blick auf den Planungsleitgedanken: De facto wird eine ähnliche Breitenwirkung der Investitionen angestrebt wie bei der Neuplanung des Transportsystems Straßenbahn – auch hier steht nicht ausschließlich die Bewältigung vorhandener Fahrgastströme im Vordergrund. Vielmehr sollen sich vor allem mittelfristige Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl zugunsten des Umweltverbundes ergeben und vielfältige städtebauliche Erneuerungen und Neuerschließungen angeregt werden. Gleichlautende Zielsetzungen stehen auch bei den Transportsystemen zwischen Bus und Bahn im Mittelpunkt. Eingesetzt werden dazu allerdings nicht Schienenfahrzeuge, sondern Designer-Fahrzeuge mit Sonderlänge, basierend auf moderner Bustechnologie: „Think rail, use bus!“ Dieser knappe Planungsleitgedanke der (süd-)amerikanischen Bussysteme ist auch für den europäischen Weg nicht von der Hand zu weisen. Eine Ergänzung hat allerdings für den hiesigen Raum noch zu erfolgen: „Think rail, use bus, ...and create an image!“

**Planungsleitgedanke ist eine positive Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl und des Städtebaus**

Denn gerade bei der ersten Generation der „System“-Verkehrsmittel auf Basis der Bustechnologie, den Duo-Spurbussen aus den achtziger Jahren, ist kein Wert darauf gelegt worden, mittels subjektiver Wahrnehmung ein Auftreten als ein modernes, eigenständiges Transportsystem zu vermitteln, um an Profil zu gewinnen. So ist es beispielsweise dem Spurbus niemals gelungen, sich vor allem gegenüber dem Linienbusverkehr abzusetzen. „Zu günstig, zu flexibel, halt ein Bus“ lautet das ernüchternde Fazit der Entwickler von Mercedes-Benz Omnibusse, die zwar aus dem Blickwinkel der Technik ein ohne jeden Zweifel wirtschaftliches und betriebsrobustes System geschaffen haben, jedoch ohne Potential, das Produkt Spurbus als neues „System“ zu vermarkten.

**Die Hochwertigkeit eines Bus-Transportsystems muss auch vermittelt werden können**

Die Forschungsarbeit zeigt aber, dass man inzwischen bei den neueren, vor allem französischen Entwicklungen, sehr wohl gelernt hat, die Imagebildung über Emotional Design und Fortschrittsdenken positiv zu beeinflussen. Vor allem werden getrennte Fahrwege vom Individualverkehr angestrebt, über deren Gewährung verkehrspolitische Grundsatzentscheidungen zu treffen sind. Und nach Auffassung der politischen Entscheidungsträger braucht man dafür etwas Besonderes, Identifikationsstiftendes, etwas, das die Einzigartigkeit der jeweiligen Stadt und ihrer Bürger verdeutlicht und auch von den Autofahrern akzeptiert wird. Eine positive Imagebildung steht deshalb bei den neuartigen Transportsystemen meist im Vordergrund, obwohl diese für die Bewältigung der Verkehrsaufgabe, sollte man einen ausschließlich sachbezogenen, technischen Maßstab anlegen, gar keine Rolle spielt.

**Politische Wertschätzung setzt positive Imagebildung voraus**

Unabdingbare Voraussetzung einer solchen positiven Imagebildung ist allerdings auch die technische Standfestigkeit im Alltagsbetrieb, die sich bei den neuartigen Verkehrsmitteln über eine hohe Verfügbarkeitsquote feststellen ließe. Und hier gibt es derzeit noch Probleme. Die technische

**Imagebildung versus Betriebsreife**

Untersuchung der einzelnen fahrzeug- und fahrwegseitigen Komponenten zeigt denn auch, dass man vorerst noch auf den Pfaden bewährter Nutzfahrzeug- bzw. Bahntechnik bleiben sollte. Ohne Frage wird es schwierig sein, konventionelle Fahrzeugkonstruktionen und Antriebstechniken, die eine jahrzehntelange Entwicklungszeit hinter sich haben, mit innovativen Ansätzen auf Anhieb zu übertreffen. Es deutet sich an, dass die ehrgeizigen wie innovativen Fahrzeugtypen mit vielerlei Anfangsproblemen behaftet sein werden.

#### Fahrzeugtyp Buszug

Wenden wir uns nun den einzelnen Fahrzeugtypen detailliert zu. Zunächst soll hier der Fahrzeugtyp Buszug, Bauart Doppelgelenkbus, im Mittelpunkt stehen: Ein Buszug ist ein niederfluriger, doppelgelenkiger „Puller“ mit seitlichem Mittelmotor und diesel-hydromechanischem Antrieb der zweiten Achse. Er baut auf eingeführten Fahrzeugkonzepten der Serienproduktion auf. Mit diesem Fahrzeugtyp steht damit eine durch und durch bewährte Fahrzeugkonstruktion zur Verfügung, bei der eine hohe technische Standfestigkeit vorausgesetzt werden kann. Zwar fehlt ein Emotional Design wie bei dem Fahrzeugtyp Busbahn, jedoch besteht bei diesem Fahrzeugtyp immer noch die Möglichkeit, die Wahrnehmung über ein besonderes Außendesign des Fahrzeugs zu verbessern.

Mittlerweile findet man auch ein erstes, niederfluriges Anwendungsbeispiel des Transportsystems Buszug in Utrecht. Es stellt sich die Frage, ob das „Modell Utrecht“ als wegweisend hervortritt. Dies wäre zu hoffen, wenngleich zurzeit kein weiteres, vergleichbares Projekt existiert. Aber dafür gibt es Pläne mit Doppelgelenkonnibussen, die auf vorhandenen Strecken im Linienbusverkehr eingesetzt werden, wie z. B. in Aachen, Dresden, Hamburg, Wiesbaden und Genf. Wünschenswerte Investitionen in die Streckeninfrastruktur mit dem Ziel, den klassischen Linienbusverkehr zu einem Transportsystem aufzuwerten, werden aber wohl unterbleiben.

Aufgrund der Sonderlänge der Buszüge sollte nicht vergessen werden, dass die Stadtverwaltungen involviert werden und vorhandene Haltestellen insbesondere als Buskap eingerichtet werden müssen; wäre dies nicht der Fall, würden Gelenkbusse eins zu eins gegen Doppelgelenker ausgetauscht werden und damit zu Lasten einer dichten Zugfolge eine bloße Kapazitätserweiterung vollzogen werden. So aber wird aufgrund der zu tätigen Infrastrukturanpassungen mittelfristig allenfalls mit einem überschaubaren Anwenderkreis zu rechnen sein. Zweifellos wird die weitere Verbreitung maßgeblich durch die Ergebnisse des Fahrgastbetriebs bei der Hamburger Hochbahn und den Fortschritt bei der Klärung noch offener Genehmigungsfragen bestimmt.

Der Einsatz von Buszügen in Straßenbahn-Städten bedarf im Übrigen einer besonderen Betrachtung. Eine Chance kann dem Buszug nur dort

zugesprochen werden, wo der Verkehrsbedarf schwere Linien mit langen Zügen erfordert. Hier klafft immer eine große Kapazitätslücke zwischen 18-m-Gelenkbussen und 40-m-Straßenbahnen, so dass der Buszug im Sinne eines Vorlaufbetriebs eingesetzt werden und zu einer schrittweisen Trassensicherung beitragen kann. Dagegen zeichnet sich ab, dass Verkehrsbetriebe, in denen die Straßenbahn ihre Kapazitätsvorteile nicht deutlich ausspielen kann, sich sehr zurückhaltend zeigen, da man dort befürchtet, dass Straßenbahnlinien, nicht zuletzt aufgrund des hohen Sparzwanges, auf einen kostengünstigeren Buszug-Betrieb umgestellt werden.

Kommen wir zum Fahrzeugtyp Busbahn: Die Busbahn ist vor allem durch eine On-board-Energieerzeugung, meist mit Energiespeicher, und radnaher E-Motortechnik an mehreren Achsen charakterisiert. Es ist beabsichtigt, dass ein berührungsfrei arbeitender Lenk-Assistent im Haltestellenbereich zum Einsatz kommt. Die Designer-Busse sind allesamt neu entwickelte Spezialfahrzeuge. Natürlich bedarf es noch detaillierter Erkenntnisse aus dem Fahrgastbetrieb, um die Frage zu beantworten, ob beispielsweise dieser technisch innovative Fahrzeugtyp, vertreten durch die Bauarten Civis und Phileas, mehr als eine kostenintensive Modeerscheinung darstellt. Zurzeit ist es jedenfalls offensichtlich, dass eine Busbahn nur in den Städten eine Chance haben wird, wo Designaspekte und Fortschrittsdenken eine außerordentlich wichtige Rolle einnehmen und man darüber hinaus bereit ist, entsprechende Betriebskosten und technische Risiken zu tragen, wie dies in Rouen und Eindhoven der Fall ist. Immerhin gelten beide Städte in ihrem Land als progressive Vorreiter des Fortschrittsdenkens, jedoch kann dieser Innovationsbonus nur einmal ausgespielt werden. Sowohl weitere potentielle Kunden als auch die Hersteller selber warten nun erst einmal ab, wie hoch die Verfügbarkeit im Fahrgastbetrieb ist und welche Betriebskosten bzw. welche Garantieleistungen zu tragen sind. Es überrascht deshalb nicht, dass es zurzeit keine weiteren Busbahn-Projekte mit solchen Spezialfahrzeugen gibt. Fakt ist darüber hinaus, dass in Rouen die Inbetriebnahme des Fahrzeugtyps Civis aufreibend ist und in Eindhoven der angekündigte Fahrgastbetrieb des Phileas vermutlich ein Jahr später als anfänglich geplant erfolgen wird.

#### Fahrzeugtyp Busbahn

Der Fahrzeugtyp Dual-Mode Bus ist als Netz-/diesel-elektrischer Doppelgelenkbus mit abschnittsweiser mechanischer Querführung (Duo-Spurbus, z. B. Bauart GLT/TVR) definiert. Der ursprünglichen Faszination, „Zwei-Wege-Busse“ als verkehrstechnische Alternative zwischen Bus und Bahn zu platzieren, ist trotz der enormen Entwicklungszeit Ernüchterung gefolgt: Teils spurgebunden, teils spurfrei, außerdem sollte ein elektrischer Antrieb auch ohne Fahrdraht zum Einsatz kommen. Diese Idee eines Transportsystems mit regelmäßigem Wechsel des Betriebsmodus hat sich aber nicht durchsetzen können – zu teuer, zu schwer, zu

#### Fahrzeugtyp Dual-Mode Bus



störanfällig. Letztlich muss festgestellt werden, dass dieser Fahrzeugtyp auf dem Verkehrsmarkt keine Nische finden wird, erst recht nicht nach den zahlreichen Entgleisungen und dem hohen Rad- und Schienenverschleiß in Nancy sowie den platzenden Reifen in Caen. Und die durchaus ähnlichen Entwicklungsansätze konkurrierender Fahrzeughersteller, datiert aus der Anfangszeit ihrer Entwicklungen, orientieren sich mittlerweile eindeutig entweder in Richtung Bus, siehe Fahrzeugtyp Busbahn mit berührungsfrei arbeitenden Spurregelungen nur noch im Haltestellenbereich, oder in Richtung Straßenbahn, siehe Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen, die nun über die gesamte Strecke mechanisch quergeführt wird. Natürlich spielen hier auch Erkenntnisse aus den bisherigen Zulassungsprozessen eine Rolle: Bei den busorientierten Transportsystemen wird eine Zulassung auf Grundlage der StVZO angestrebt, bei den bahnorientierten Transportsystemen gilt eine Zulassung entsprechend der BOStrab als aussichtsreich.

**Fahrzeugtyp Multi-Mode Bus**

Erwähnt sei auch der Fahrzeugtyp Multi-Mode Bus, ein Bus-Zugverband aus eigenständigen Einzelfahrzeugen mit elektronischer Deichsel und abschnittsweiser automatischer Quergeführung, der noch am Anfang seiner Entwicklung steht. Vor einer ersten Anwendung sind noch umfassende Erprobungsarbeiten zu leisten und zulassungsrechtliche Fragen zu klären.

**Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen**

Mit dem Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen reift im Bereich der bahnorientierten Systeme eine weitere verkehrstechnische Alternative mit einer gegenüber der konventionellen Straßenbahn höchstwahrscheinlich geringeren Geräusch- und Erschütterungsemission und möglichen Kostenvorteilen heran. Unter dem Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen wird hierbei eine elektrische Kleinprofil-Leitschienenbahn verstanden. Es ist ein mehrteiliges Multigelenkfahrzeug in Leichtbauweise, wahlweise unter Verzicht einer Oberleitungsanlage auch mit Batterie- oder Generatoreinheit. Zurzeit gibt es hier nur die Bauart Translohr. Die aussichtsreichen Erprobungsergebnisse auf dem firmeneigenen Lohr-Testgelände in Duppigheim bestätigen den bisher eingeschlagenen Weg. Aber auch hier wird man sich noch in Geduld üben müssen, bis der Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen, Bauart Translohr, im Betriebsalltag erste aussagekräftige Ergebnisse liefert. Sind diese vielversprechend, könnten neue Straßenbahnsysteme verstärkt auf Basis der Bustechnologie umgesetzt werden – sofern nicht der Planungsansatz einer regionalen Stadtbahn bestimmend ist. Lohr Industrie sollte aber gewarnt sein durch das Scheitern des GLT/TVR in Nancy. Lohr ist nicht wie dessen Hersteller Bombardier ein Weltkonzern, der umfassende Garantieleistungen auffangen könnte. Ferner ist es für einen Erfolg unabdingbar, dass Lohr vor Ort auf Techniker der Verkehrsbetriebe trifft, die sich ihres neuen Systems mit Herzblut annehmen. Wie wird sich zudem die Rolle von Lohr als „Monopolist“ auswirken?

Es sind also noch viele Fragen offen und vor ersten Erkenntnissen aus dem Fahrgastbetrieb, vor allem aus Clermont-Ferrand, wird es kaum möglich sein, den Stellenwert des Translohr am Verkehrsmarkt einzuordnen. Das Augenmerk wird sich zunächst auf belastbare Betriebserfahrungen richten, bevor sich nun weitere Städte für ein derartiges System entscheiden.

Auch der Fahrzeugtyp Straßenbahn, Bauart elektrischer Triebwagen mit Oberleitungsanlage, ist zu Vergleichszwecken mit in die Forschungsarbeit eingebunden worden. Im Vordergrund stehen hierbei mehrteilige, leichte Schienenfahrzeuge im 30-m-Bereich, die – *nicht gekuppelt* – eine vergleichbare Beförderungskapazität wie die Fahrzeuge auf Basis der Bustechnologie aufweisen. Die Straßenbahn ist in hohem Maße betriebsreif. Darüber hinaus bestehen umfassende Erfahrungen mit Planung, Bau, Betrieb und Wirkung des Systems.

**Fahrzeugtyp: Straßenbahn**

Während die technische Beurteilung der neuartigen Fahrzeugtypen mit einem Mehr an Betriebserfahrungen immer klarere Ergebnisse liefern wird, ist die Empfehlung für eines der bewährten bzw. aussichtsreichen Transportsysteme Buszug, Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen oder Straßenbahn für einen bestimmten Verkehrsraum ungleich komplexer. Die Transportsysteme zwischen Bus und Bahn sind, wie alle Systeme, die einen bevorrechtigten Fahrweg für sich beanspruchen, ein Politikum. Nur in Abhängigkeit von dem konkreten Planungsauftrag ist eine Aussage darüber möglich, in welchem Maße das Transportsystem geeignet ist. Die Forschungsarbeit zeigt, dass diese Aussage von relativer Natur ist und vor allem in Abhängigkeit zu sehen ist von

**Die neuartigen Transportsysteme bedingen eine einzelfallspezifische Beurteilung**

- ortsspezifischen Rahmenbedingungen des Trassenkorridors einschließlich der Nutzungsverträglichkeiten,
- der gesamtgemeindlichen Zielsetzung der Einsatzplanung,
- dem erwarteten Verkehrsvolumen bzw. dem für den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Trasse prognostizierten Betriebsprogramm sowie
- der Auffassung der Planungsbeteiligten und der politischen Mandatsträger.

Deshalb macht es keinen Sinn, die Transportsysteme „am grünen Tisch“ zu bewerten, beispielsweise über ein Ranking, da eine auf alle Verkehrsräume beliebig übertragbare Gewichtung möglicher Zielfelder nicht erstellt werden kann. Die Auswahl eines Transportsystems ist nun einmal per se weder allgemeingültig noch in „Maß und Zahl“ ausdrückbar. Das Leistungsspektrum der neuartigen Transportsysteme mit seinen bestehenden Vorteilen und Risiken konnte deshalb nur in einer konzeptionellen Entwurfs- und Entscheidungshilfe gegenübergestellt werden. Es werden hierbei die Auswirkungen der beabsichtigten Systemwahl durch planerische Vorüberlegungen bedacht und notwendige Entscheidungs-

**Die Auswirkungen einer Systemwahl sind als Entscheidungsgrundlage gegenüberzustellen**

grundlagen zur Verfügung gestellt, um die Zielkonflikte der Planung sachbezogen auszutragen. Der dazu in der Forschungsarbeit aufgezeigte Weg zur Eignungsfeststellung orientiert sich an

- den systemspezifischen Eigenschaften,
- den betriebstechnischen Anforderungen,
- der städtebaulichen Eignung sowie
- den wirtschaftlichen Auswirkungen.

**Stadtpolitische Interessen spielen eine gewichtige Rolle**

In die Entwurfs- und Entscheidungshilfe fließen auch die Erkenntnisse der Monographien über die Anwendungsfälle Utrecht, Rouen, Eindhoven, Clermont-Ferrand und Orléans ein. Dort wird besonders eindrucksvoll gezeigt, dass man nicht vergessen darf, dass Politiker – und nicht Fachplaner – maßgeblichen Einfluss auf die Systemauswahl nehmen. Die Entwurfs- und Entscheidungshilfe bietet deshalb auch die Möglichkeit, nicht nur sachbezogene Gesichtspunkte in den Auswahlprozess mit einfließen zu lassen, sondern auch stadtpolitische. Zur Verdeutlichung dieser Problematik mag das Beispiel der Stadt Rouen dienen: Ohne Zweifel ist in Rouen eine vorbildliche Bus-Streckeninfrastruktur entstanden, und wir können feststellen, dass die zurzeit übergangsweise eingesetzten Agora Serien-Gelenkbusse von Irisbus ihrer Verkehrsaufgabe auch ohne diesel-elektrischen Antrieb und Spurregelungs-Assistent – wie wir sie bei der Civi-Busbahn vorfinden – gerecht werden. Man könnte nun meinen, dass man von vornherein die Strecke mit Serien-Gelenkbussen hätte betreiben können. Dies hätte sicherlich Kosten gespart, aber Transportsysteme mit einem eigenen Fahrweg müssen sich der politischen Diskussion stellen, und ohne die Inspiration durch das innovative Civi-Fahrzeugkonzept mitsamt Emotional Design und dem damaligen vorbehaltlos positiven Image wäre der Aufgabenträger nun einmal nicht bereit gewesen, ein System mit Busstraßen einzurichten. Ohne imagewirksame Fahrzeuge hätte wahrscheinlich keine bevorrechtigte Streckeninfrastruktur erstellt werden können! Und hier lag eine der Herausforderungen bei der Erstellung der Entwurfs- und Entscheidungshilfe dieser Forschungsarbeit: Im vorliegenden Fall dient die innovative Busbahn als Wegbereiter einer hochwertigen Streckeninfrastruktur, d. h. man nimmt ein möglicherweise noch nicht ausgereiftes Fahrzeugkonzept in Kauf, kann dafür aber auf eine bevorrechtigte Streckeninfrastruktur zählen. Auch solche einzelfallspezifischen Interessenabwägungen, die sich keineswegs ausschließlich auf einer sachbezogenen Ebene abspielen, müssen bei der Eignungsfeststellung durch die Entwurfs- und Entscheidungshilfe abgebildet werden; im vorliegenden Fall beispielsweise durch eine starke Gewichtung der systemspezifischen Eigenschaften im Bereich Image, Innovation und Marketingpotential.

In der Entwurfs- und Entscheidungshilfe spiegelt sich auch die Frage nach dem Stellenwert städtebaulicher Belange wider: Zweifellos wird immer eine grundsätzliche Entscheidung darüber zu treffen sein, ob man den *Straßenraum dem Transportsystem* anpasst oder aber umgekehrt das *Transportsystem dem Straßenraum*. Busorientierte Transportsysteme setzen eine vergleichsweise hohe Flächenverfügbarkeit voraus, dagegen kann zum Beispiel die Straßenbahn auf Gummireifen in ihrer Fahrzeugbreite gegebenenfalls auch schmal ausgeführt werden, da eine hohe Beförderungskapazität aufgrund der mechanischen Querführung ebenso über eine größere Fahrzeuglänge erzielt werden kann. Und gerade bei Kurvenfahrten trägt die Querführung dazu bei, dass geringere Verkehrsflächen benötigt werden: Keine Frage, mit bahnorientierten Systemen können die planerischen Zielkonflikte deutlich reduziert werden, insbesondere in historisch gewachsenen Stadträumen, wo die Flächenverfügbarkeit oft stark eingeschränkt ist. Trotzdem ist es ratsam, einzelfallspezifische Vorstudien über die Aufteilung des Straßenquerschnitts mit allen marktreifen Fahrzeugtypen, also Buszug, Busbahn, Straßenbahn auf Gummireifen und Straßenbahn, durchzuführen, um diese Frage ortsbezogen klären zu können. Beurteilungsgröße sollte hierbei das Maß der städtebaulichen Integration, der verbleibende Platz für Fußgänger und Radverkehr sowie die Belebung von Innenstädten sein. Die Meßlatte für die neuartigen Transportsysteme liegt hierbei durch die bisherigen Erfolge der Straßenbahn, vor allem in Frankreich, hoch.

**Die städtebauliche Integration ist Pluspunkt der bahnorientierten Systeme**

Freilich kann man bei der Entwurfs- und Entscheidungshilfe eine Bewertungsebene besonders in den Vordergrund stellen: Wirtschaftlichkeit! Und hier ist es augenfällig, dass sowohl bei der Instandhaltung der Fahrzeuge als auch bei dem Fahrweg die Kostenschere zwischen den Buszug-ähnlichen und den Straßenbahn-ähnlichen Transportsystemen weit auseinander klafft. Es zeigt sich auch in dieser Forschungsarbeit die bekannte Tatsache, dass man sich bei dem Bau von Schienenbahnen eines starken Fahrgastaufkommens sicher sein muss, um den besseren Wirkungsgrad bei dem Fahrpersonal ausspielen zu können. So machen die durchschnittlichen Systemkosten bei den busorientierten Transportsystemen auch bei einer Straßenbahn-ähnlichen Eigentrasse mit städtebaulicher Integration höchstens die Hälfte der Investitionskosten aus, die bei einer bahnorientierten Umsetzung zu berücksichtigen wären. Bei den laufenden Instandhaltungskosten der Fahrwege mag dieses Verhältnis ebenso zutreffen wie bei den Personalaufwendungen im Fahrdienst und Werkstattbereich. Der Wechsel vom busorientierten Transportsystem auf eine Straßenbahn ist demnach *aus wirtschaftlicher Hinsicht* eben so lange zu vermeiden, wie es die Bewältigung des Fahrgastaufkommens in dem Verkehrsraum noch ermöglicht. Dies erfordert aber die resolute Nutzung moderner planerischer, gestalterischer und technischer Erkenntnisse bei der Verwendung von Omnibustechnologie, insbesondere im Bereich der städtebaulichen Integration und der Vermittlung eines hochwertigen Bedienungsangebotes.

**Wirtschaftlichkeit – eine Stärke der busorientierten Systeme**

**Die überschlägige Beurteilung erfolgt zugunsten des Transportsystems Buszug**

Abschließend stellt sich die Frage, welche Entwicklungsausrichtung auf Basis der durchgeführten Untersuchung empfohlen werden kann. Natürlich muss die Beförderungsleistung des Transportsystems dem Fahrgastaufkommen entsprechen. Sofern bis zu 2800 Fahrgäste je Stunde und Richtung zu befördern sind, sollte konsequenterweise bei Neuplanungen zunächst immer ein busorientierter Vorlaufbetrieb mit Eigentrassen auf seine Umsetzungsfähigkeit hin überprüft werden. Im Vordergrund wird hierbei der technisch bewährte und vergleichsweise wirtschaftliche Fahrzeugtyp Buszug stehen. Für einen solchen Einsatz sprechen u. a.

- die höhere Attraktivität eines Transportsystems Buszug gegenüber dem klassischen Linienbusverkehr bei nahezu unveränderter betrieblicher Flexibilität,
- die gegenüber den weiteren untersuchten Transportsystemen geringeren Investitions- und Betriebskosten bei einem ähnlichen Wirkungsgrad des Fahrpersonals,
- die nachgewiesene technische Standfestigkeit und Standardisierung der Bauart,
- die zulassungsrechtliche Situation, die auf EU-Ebene keine Einschränkung der Längenbegrenzung von Doppelgelenkbussen vorgibt,
- die hohe Variationsbreite beim Ausbaustandard der Straßenanlagen.

**Aufwärtskompatibilität der busorientierten Transportsysteme - Endstufe Light Rail**

Damit könnte in jedem Fall die jetzige Kapazitätslücke zwischen Linienbusverkehr und Bahnverkehr Rad/Schiene, die wirtschaftlich eng mit dem Einsatz langer Züge verbunden ist, geschlossen werden. Darüber hinaus sollte in der Projektierungsphase die Ausführung eines „Kombinationsfahrwegs“ überprüft werden, der die Möglichkeit bietet, auch später noch mit angemessenem Aufwand auf ein bahnorientiertes System umzustellen, falls 25-m-Busse trotz eigener Infrastruktur ihrer Verkehrsaufgabe nicht mehr gewachsen wären. Bei einem Kombinationsfahrweg wären von vornherein bautechnische und fahrdynamische Trassierungselemente zu berücksichtigen, die den nachträglichen Einbau von Schienen – sei es eine Monoschiene oder ein Zweischienengleis – ermöglichen. Es bliebe so die Option erhalten, in einer aufwärtskompatiblen Ausbaustufe idealerweise kupplungsfähige Straßenbahnen auf Gummireifen verkehren zu lassen – vorbehaltlich eines noch ausstehenden Nachweises ihrer allgemeinen Betriebstauglichkeit. Sollte aus Gründen der Leistungsfähigkeit der Übergang auf ein Straßenbahn-ähnliches Transportsystem erfolgen, würde im Übrigen genau das Fahrgastaufkommen vorliegen, um lange Transporteinheiten eines Bahnsystems bilden zu können und bei gleichzeitiger, angepasster Wahl der Zugfolgezeit eine angemessene Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Damit ist der Einsatz des Transportsystems Buszug vor allem als Ergänzung der Straßenbahn in deren unterem Leistungsspektrum zu sehen, wobei die Hochleistungs-Endstufe „Light Rail“ als Option offen bliebe.



## 7 Literatur

**Ahlbrecht, H. (1992):** Das Duo-Spurbussystem in Essen, in: eb – Elektrische Bahnen 90 (1992) Heft 4, S. 153-160.

**Alstom (2002):** Vortrag von R. Tutzauer zum Thema: APTIS – Attractive and cost-effective Light Rail, Light Rail Conference in Nantes, 12.-14. Juni 2002.

**Angenendt, W., Bräuer, D. (2002):** Bewährt: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnanhebung für Straßenbahnen, in: Der Nahverkehr 10/2002, S. 50-55.

**Benjari, R. (2002):** Untersuchung des Nahverkehrs in den französischen Städten Rouen, Clermont-Ferrand und Orléans. Diplomarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Öffentliche Verkehrs- und Transportsysteme – Nahverkehr in Europa, Wuppertal 2002.

**Bundesgesetzblatt (1990):** 16. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, Teil I.

**CERTU (1999):** Nouveaux Systèmes de Transports guidés urbains, Hrsg: Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions publiques, ISSN 1263-3313, Paris 1999.

**Deutsch, V. (2002):** Tramways sur Pneus, Bus Rapid Transit und Busbahn – Stand und Perspektive moderner Bustechnologie im städtischen Nahverkehr, in: Schriftenreihe B 241, DVWG, ISBN 3-933392-41-1, Bergisch-Gladbach 2001, S. 114-121.

**Deutsch, V. (2002):** Clermont-Ferrand entscheidet sich für den Translohr – Neue Realisierungsphase neuartiger französischer Nahverkehrssysteme, Der Nahverkehr 1-2/2002, S. 53-59.

**Deutsch, V., Pütz, R. (2003):** Steht die Renaissance von Buszügen bevor?, Der Nahverkehr 4/2003, S. 7-15.

**Hass-Klau, C., Crampton, G., Weidauer, M., Deutsch, V. (2000/a):** Bus or Light Rail: Making the Right Choice, ISBN 095196206X, Brighton 2000.

**Hass-Klau, C., Crampton, G., Deutsch, V. (2000/b):** Städtische Nahverkehrssysteme im internationalen Vergleich, in: Der Nahverkehr 10/2000, S. 31-36.

**Hondius, H. (1995):** Entwicklungsstand im Bereich der Busse, Duobusse, Obusse und der Zwischensysteme, Referat auf der UITP-Tagung am 29. August 1995 in Brügge, veröffentlicht in: Public Transport International, 1995/96, S. 62-66.

**Hondius, H. (2000):** Translohr – eine gummibereifte Straßenbahn? in: Stadtverkehr 10/2000, S. 6-15.

**Hondius, H. (2002/a):** Utrecht: Hochwertiger Nahverkehr mit Doppelgelenkbussen, in: Stadtverkehr 6/2002, S. 6-13.

- Hondius, H. (2002/b):** Phileas, ein elektronisch geführter Superbus, in: Stadtverkehr 9/2002, S. 6-14.
- Hondius, H. (2002/c):** Die Entwicklung der Niederflur- und Mittelflur-Straßen- und Stadtbahnen (Folge 16), in: Stadtverkehr 11-12/2002, S. 6-34.
- Irisbus (2001):** Civis – Das neue städtische Verkehrssystem, Öffentlichkeitsarbeit Irisbus Deutschland GmbH, Mainz.
- Jahn, D. (1999):** Sicher, sauber, kundenorientiert, in: Internationales Verkehrswesen, 6/99, S. 257-260.
- Kasch, R., Vogts, G. (2002):** Schienenbonus: Es bleiben Fragen. in: Der Nahverkehr 3/2002, S. 39-43.
- Kirchhoff, P. (2002):** Städtische Verkehrsplanung, ISBN 3-519-00351-1, Verlag B. G. Teubner, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden 2002.
- Kloppe, U. (2000):** Einsatzbereiche unkonventioneller Bahnkörperformen in Hauptverkehrsstraßen, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover, ISBN 3-922344-26-7, Hannover 2000.
- Leuthardt, H. (1998):** Kostenstrukturen von Stadt-, Überland- und Reisebussen, in: Der Nahverkehr 6/1998, S. 19-23.
- Leuthardt, H. (2000):** Betriebskosten von Stadtbahnen, in: Der Nahverkehr 10/2000, S. 14-17.
- Light Rail Transit Consultants GmbH (1993):** Light Rail Transit; Bearbeiter: Gerndt, H.; Hansen, J.; Kokot, W.; Düsseldorf, 1993
- Megel, K. (2002):** Schienenbonus – ein Mythos?, in: Der Nahverkehr 6/2001, S. 20-23.
- Pütz, R. (2001):** Rundschreiben (VPKV) Nr. 2/2001 des VDV-Fachbereichs T3, Köln.
- Rottmann, J. (2001):** Kostenvergleich städtischer Nahverkehrssysteme. Diplomarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Öffentliche Verkehrs- und Transportsysteme – Nahverkehr in Europa, Wuppertal 2002.
- Le Roux, A. (2001):** Alstom veut casser les Prix, in: La Vie du Rail, 10.10.2001.
- Schmidt, M., Siegert, E. (2002):** Auf dem Weg in den Wettbewerb, in: Der Nahverkehr 7-8/2002, S. 14-19.
- TRANSCET (1996):** Transport Collectif en Site Propre – Les nouvelles Voies de la Ville, TRANSCET, Groupe TRANSDEV, Boulogne 1996.
- VÖV/VDA (1979):** Bus-Verkehrssystem, ISBN 3-87094-771-3, Alba Buchverlag GmbH, Düsseldorf 1979.
- VDV (1999):** Linienbusse, ISBN 3-87094-641-5, Knipping Druckerei und Verlag GmbH, Düsseldorf 1999.
- VDV (2000):** Stadtbahnen in Deutschland, ISBN 3-87094-645-8, Knipping Druckerei und Verlag GmbH, Düsseldorf 2000.
- Weigelt, H., Götz, R. u. Weiß, H. (1973):** Stadtverkehr der Zukunft – Neue Verkehrsmittel drängen nach vorn, Alba Buchverlag, Düsseldorf 1973.

# **Anhang A**

## **Fahrzeug- und Antriebskonzepte**



# A.1 Buszüge mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren

## A.1.1 Verbrennungsmotoren, Kraftstoffe und Emission

Bei Linienomnibussen findet im Antriebsbereich nahezu ausschließlich der kostengünstige, herkömmliche Verbrennungsmotor als Antriebsart Verwendung. Der Dieselmotor hat sich hierbei seit Jahrzehnten aufgrund seiner Robustheit, Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit als das Standardaggregat im ÖPNV bewährt und spielt auch bei den zukünftigen Anforderungen der Emissionsrichtlinien der Europäischen Union eine zentrale Rolle. Dieselmotoren erreichen bereits heute durch die zahlreichen motorischen Maßnahmen (Turboaufladung mit Ladeluftkühlung, Hochdruckeinspritzsystem, verbesserte Brennraumgeometrie etc.) unkritische Emissionen von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC. Über Verbesserungen des Abgasverhaltens und Kraftstoffmodifikationen (schwefelfreier „City-Diesel“) konnten auch die Werte der Partikelmasse PM und der Stickstoffoxide NO<sub>x</sub> verbessert werden. Heutige Dieselmotoren stoßen entsprechend den Vorgaben der europäischen Emissionsrichtlinie nur noch einen Bruchteil der Schadstoffe früherer Fahrzeuge aus.

Beleuchtet man allerdings Auswirkungen der motorischen Maßnahmen im Detail, erkennt man, dass zahlreiche Zielkonflikte zu lösen sind: Eine Erhöhung des Einspritzdrucks führt beispielsweise zu einer Verbesserung des Treibstoffverbrauchs, allerdings gleichzeitig auch zu einer Erhöhung der thermischen NO<sub>x</sub>-Bildung und damit zu einer schlechteren Stickoxid-Emission. Ein hohes Verdichtungsverhältnis zieht eine Verschlechterung des Treibstoffverbrauchs nach sich, dafür sinken die Stickoxide, aber die Partikelemissionen steigen (HAMSTEN et al 2000, S. 23). Es wird offensichtlich, dass viele derartige Zielkonflikte zu lösen sind, ehe ein modernes Dieselaggregat die heutigen technologischen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen bestmöglich erfüllt.

Zur Einhaltung der verschärften Abgaswerte für Nutzfahrzeuge entsprechend der europäischen Emissionsrichtlinie Euro-4, die im Jahr 2005 in



Kraft tritt, ist die ergänzende Anwendung von Partikelfiltern (z. B. *CRT-System*, Continuously Regenerating Trap) notwendig, die eine sehr effiziente Reduktion der Ruß- und Partikelemissionen ermöglichen, wenngleich bei der Regeneration oder dem „Abbrennen“ des im Filter gesammelten Rußes noch Entwicklungsarbeit hinsichtlich der Dauerhaltbarkeit und der Zuverlässigkeit zu leisten ist. Ein CRT-Filter oxidiert zunächst Kohlenmonoxid CO zu Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und filtert in einem weiteren Schritt unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC und Partikel, bis sie nicht mehr messbar sind. Die Regenerierung erfolgt bei hoher Temperatur (200 - 450°C) durch Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>, welches im Oxidationsfilter gebildet wird. Während der Kaltstartphase ist hierbei noch ein unverminderter Schadstoffausstoß zu verzeichnen (BACH 2001). Vorausgesetzt ist entschwefelter Dieseldieselkraftstoff.

Die Betriebsreife und Vorteilsbilanz des CRT-Filters bei der Schadstoffreduktion zeigt sich in der Tatsache, dass sich die RATP aufgrund der Ergebnisse der von der UTAC (L'Union Technique de l'Automobile) mit Euro-1+CRT-Filter-, Euro-2-, Erdgas- und Flüssiggas-Motoraggregaten durchgeführten Rollentest-Resultaten sich dazu entschieden hat, bis 2002 schätzungsweise 2200 Busse mit einem CRT-Filter auszustatten (CURTIL 2001). Auch die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) setzen als Sofortmaßnahme auf die CRT-Filter und statten 1400 Busse mit einem derartigen Abgasnachbehandlungssystem aus (EBERWEIN 2001).

Diese Großbestellungen für zwei europäische Metropolen nach eingehender technischer Voruntersuchung zeigen, dass die Dieseldieseltechnik in Verbindung mit Abgasnachbehandlungsverfahren ein hohes Potential zum „Near Zero Emission“-Antrieb (lokale Emission) in Verbindung mit geringen globalen Emissionen und einem hohen energetischen Wirkungsgrad besitzt. Eine deutliche Reduzierung der Lärmemission, beispielsweise über eine verbesserte Kapselung der Dieseldieselmotoren, steht noch aus und kann auch nur schwierig gelöst werden, da sich lärmmindernde Maßnahmen kontraproduktiv zu Wärmeabführungsmaßnahmen auswirken. Eine gewisse Lärminderung verspricht hier allerdings die Common-Rail-Motortechnik, die mit hohen Einspritzdrücken über 160 MPa arbeitet.

Der NO<sub>x</sub>-Gehalt der Abgase wird vom CRT-Filter nicht beeinflusst. Zur zusätzlichen Reduzierung von Stickoxiden muss deshalb ergänzend auf eine Abgasrückführung (AGR) zurückgegriffen werden. Für die Reduktion der Stickoxid-Emissionen im Abgas hat sich die selektive katalytische Reduktion (*SCR-Katalysator*, Selective Catalytic Reduction) als eine geeignete Methode gezeigt. Dabei wird auf ein bei Kraftwerken bekanntes Verfahren zurückgegriffen, die Stickoxide NO<sub>x</sub> mit Hilfe von Ammoniak NH<sub>3</sub> zu reduzieren. Ein Ammoniak-Erzeuger muss im Fahrzeug mit-

geführt werden (wässrige Harnstoff-Lösung). Bereitstellung, Austausch sowie Entsorgung erfordern hierbei einen betrieblichen Mehraufwand. Es ist auch eine Kombination eines SCR-Katalysators mit einem CRT-Partikelfilter denkbar (SCRT, SIGNER 2000, S. 41).

Auch Volvo hat auf der CRT-Technologie aufbauend mit dem VGC-System (Volvo Emission Control) eine Kombination von CRT und Abgasrückführung entwickelt, die bereits serienreif ist. Die Weiterentwicklung des Systems (VGC Venturi) ermöglicht es sogar, mit aktuellen Euro-3-Motoren die Grenzwertstufe Euro-5 (gültig ab 2008) einzuhalten. In diesem Zusammenhang beteiligen sich beispielsweise die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) an dem Pilotprojekt „Anspruchsvolle Umweltstandards“ des Bundesumweltministeriums und setzen aktuell zunächst 25 Dieselfahrzeuge mit dem VGC-System ein.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass mit der Kombination von

- schwefelfreiem Kraftstoff,
- motorischen Maßnahmen
- Oxidationsfilter und Partikelfilter (CRT) sowie
- Abgasrückführung (SCRT oder VGC)

sich beim modernen Dieselantrieb mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand ein „Near Zero Emission-Level“ realisieren lässt. Die Kosten einer derzeit maximalen Schadstoff-Reduzierung betragen hierbei insgesamt rund 3300 EUR pro Fahrzeug und Jahr (schwefelfreier Kraftstoff, Oxidationsfilter, Partikelfilter und Abgasrückführung einschließlich Werkstattkosten, VDV 2002, S. 6).

Als konkurrenzfähiger Antrieb bei Verbrennungsmotoren steht dem Dieselmotor die Verwendung der Erdgastechnologie gegenüber. Modifizierte Erdgasmotoren haben ihre Praxistauglichkeit unter Beweis gestellt und halten bereits heute die ab dem Jahr 2005 vorgeschriebenen Abgaswerte der europäischen Emissionsrichtlinie Euro-4 ein (STICKEL 1999, S. 40). Ein großer Vorteil im Hinblick auf Lärmbeeinträchtigungen auf innerstädtischen Straßen liegt sicherlich in der leiseren Funktionsweise der Erdgasfahrzeuge. Die Lärmreduzierung gegenüber einem Dieselmotor beläuft sich auf 4 dB(A) im Leerlauf (PILZ, 1999, S. 387). Hinzu kommen bei Erdgas die annähernd geruchlosen Abgase.

Dennoch, die Frage Erdgas oder Dieselmotor mit Abgasfilter stellt sich unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht – insbesondere wegen der Notwendigkeit, eine kostenintensive Erdgasversorgungsinfrastruktur aufbauen zu müssen. Zudem bewirken im täglichen Einsatz der höhere Verbrauch und die gewichtigen Tankaufbauten eine kürzere Reichweite, eine geringere Nutzlast und einen erhöhten Verschleiß.

Demzufolge werden Flottenbetreiber von Erdgasbussen eher mehr Fahrzeuge benötigen als die Betreiber entsprechender Dieselflotten (JACOBY 1999, S. 54 und PÜTZ, SCHMIDT 1999, S. 399). Auch wird der „Abstand“ der Umweltfreundlichkeit – insbesondere im Bereich der Partikelmasse – im Vergleich mit zukünftigen Dieselmotoren nach Euro-4 und Euro-5 bei Neufahrzeugen (und dem dann erforderlichen Einsatz von Abgasnachbehandlungssystemen) deutlich verringert werden. Der Betrieb von Erdgasbussen wird daher ein überschaubares Marktsegment bleiben (RIECK 1999, S. 19).

Dagegen spricht – zumindest auf den ersten Blick – der erfolgreiche Erdgasbuseinsatz (immerhin rund 200 Omnibusse) zum Beispiel in Thüringen (Arnstadt, Gotha, Greiz, Heiligenstadt und Mühlhausen) oder bei den Saartal-Linien in Saarbrücken. Eine Analyse der Kostenstrukturen veranschaulicht, dass insbesondere die Investitionsförderung sowie der Erdgaspreis den Haupteinfluss auf einen wirtschaftlichen Erdgasbuseinsatz ausüben (BACH, VILLMOW 2000, S. 10). Aus diesem Grunde steht zu vermuten, dass die Erdgastechnik in den Gebieten einer genauen Betrachtung unterzogen werden kann, in denen die umweltpolitischen Entscheidungen mit entsprechenden Förderbedingungen eines Flottenbetriebs verknüpft sind und mit volkswirtschaftlichen Betrachtungen eine Einheit bilden – und nicht zuletzt die städtischen Versorgungsbetriebe auch Gaslieferant sind.

Weitere Kraftstoffsysteme und Antriebstechniken besitzen wenig Potential zur Erfüllung der Richtlinien bezüglich der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte der Europäischen Union unter gleichzeitiger Berücksichtigung einer möglichst wirtschaftlichen Technik. Rapsmethylester (RME) wird beispielsweise schon allein aus der Tatsache, dass langfristig höchstens 5% des deutschen Dieselkraftstoffverbrauchs durch RME substituiert werden können, kaum größere Bedeutung gewinnen. Dieselkraftstoff/Methanol-Mischungen ergeben gerade bei den gesetzlich limitierten Schadstoffkomponenten (HC, CO, NO<sub>x</sub>) gegenüber Dieselkraftstoff kaum Verbesserungen. Die Verwendung von Flüssiggas (LPG) erfordert besondere Sicherheitsmaßnahmen, um die Bildung eines explosionsfähigen Gemisches auszuschließen. Der Wasserstoffmotor benötigt ein hohes Speichervolumen auf dem Fahrzeugdach und eine bisher noch sehr aufwändige Wasserstoffversorgungsinfrastruktur.

Es bleibt daher festzustellen, dass im Linienbusbereich auf der Motorenseite zur Zeit der weiter optimierte Dieselantrieb mit Abgasnachbehandlungssystem unter Berücksichtigung einer Kosten-Nutzen-Analyse die mit Abstand sinnvollste Option darstellt, zumal sich im Augenblick ein Konsens herausbildet, dass die Verfügbarkeit von Erdöl als Basisbestandteil des Dieselkraftstoffes als nicht kritisch zu bewerten ist. (MÜLLER-

HELLMANN et al 1998, S. 37). Der Dieselmotor wird unter Ausnutzung seiner Verbesserungspotentiale nach wie vor auch mittelfristig den größten Anteil am Busmarkt behalten.

### A.1.2 Antriebskonzeption mit Mittelmotor

Die wirtschaftliche Vorteilsbilanz des dieselbetriebenen Verbrennungsmotors mit Abgasnachbehandlung ist auch auf ein Doppelgelenkfahrzeug übertragbar, allerdings kann die Antriebskonzeption des bewährten Standard-Gelenkbusses mit Antrieb der letzten Achse sowie einer davor liegenden, niederflurigen Fahrgastzelle nicht übernommen werden.

Besondere konstruktive Maßnahmen sorgen bei dem Schubantrieb des Einfach-Gelenkbusses dafür, dass die Gelenkverbindung nicht ungewollt einknickt. Die Stabilisierung erfolgt mit Hilfe einer elektronischen Regelung, die die hydraulischen Dämpferzylinder sperrt und das Gelenk in sich steif macht, wenn der Winkelunterschied zwischen Lenkeinschlag der Vorderräder und dem Knickwinkel des Gelenks einen bestimmten Wert überschreitet. Dies ist eine bewährte und vorteilhafte Gelenkbuskonzeption mit hoher fahrdynamischer Stabilität, niederflurtauglich, die aber bei einem Doppelgelenker ihre Grenzen findet.

Bei dreiteiligen niederflurigen Buszügen, die sich an kostengünstige und standardisierte Antriebskonzepte anlehnen, muss also bei der Verwendung eines bewährten, herkömmlichen mechanischen Antriebsstrangs auf einen stehenden Mittelmotor mit angetriebener Achse Nr. 2 zurückgegriffen werden, d. h. ein zweiachsiger „Solobus“ mit seitlichem Mittelmotor zieht zwei einachsige, jeweils angelenkte „Anhänger“ hinter sich her.

Den Gelenkverbindungen obliegt dabei die Aufgabe, sowohl dynamische Kräfte als auch technische Informationen an die einachsigen Anhänger zu übertragen, was sich bei dem Prinzip eines Buszuges hinsichtlich des Konstruktionsaufwands im Wesentlichen auf eine einfach kontrollierbare Übertragung von Zug- und Bremskräften beschränkt. Der Fahrgastfluss über die gesamte Fahrzeuglänge wird im Gegensatz zum Betrieb mit einem Personenanhänger durch begehbare und mit Faltenbälgen geschlossenen Gelenkverbindungen ermöglicht.

Zu akzeptieren ist hierbei allerdings eine latente Untermotorisierung und begrenzten Traktionsverhältnisse. Andernfalls müsste auf die radnahe oder Radnaben-Motortechnik mit dem Vorteil der mechanischen Entkopplung zwischen Energieerzeugung und Vortriebskraft zurückgegriffen werden, wodurch mehrere Achsen angetrieben werden könnten. Hier erschwert allerdings die Entwicklung wartungsarmer radnaher Antriebseinheiten und eine intelligente Knickschutzregelung der Gelenkverbindungen eine kostengünstige Umsetzung.

### A.1.3 Niederflurige Doppelgelenkfahrzeuge



Bild A.1: Renault Mégabus, Bordeaux (RENAULT V.I.)

Neben dem hochflurigen Renault Mégabus (10 Fahrzeuge mit Paralleltrieb der Achsen 2 und 3, seit 1988 in Bordeaux) und dem Volvo Metrobus (167 B58- und B10M-Fahrzeuge, Curitiba; 31 B10E- und 30 B10M-Fahrzeuge, São Paulo; HONDIUS 1999/b, S. 22; LUKE 1999, S. 40) ist derzeit die Bauart Van Hool AGG 300 einziges *niederfluriges* Doppelgelenkfahrzeug mit konventionellem Antriebsstrang (ein Fahrzeug in Lüttich, 27 Fahrzeuge in der Ablieferung für Utrecht; **Bild A.1-4**).



Bild A.2: Volvo Metrobus, Curitiba (LA VIE DU RAIL)

Der Van Hool AGG 300 ist in seiner aktuellen Ausführung für Utrecht 24,79 m lang und 2,55 m breit und wiegt leer 21,8 t (Flächengewicht: 332 kg/m<sup>2</sup>). Zweifellos ist das Niederflur (NF) - Bauprinzip von Van Hool in geschweißter Ganzstahlkonstruktion hinsichtlich der Beschaffungskosten die mit Abstand wirtschaftlichste Lösung bei Großraumfahrzeugen zwischen Bus und Bahn. Die Beschaffungskosten liegen bei rund 350.000 EUR (Flächenkosten: 6.500 EUR/m<sup>2</sup>), die Instandhaltungskosten bleiben überschaubar (**Bild A.5 u. A.6**).



Bild A.3: Volvo Metrobus, São Paulo (LA VIE DU RAIL)

Zum Einsatz kommt bei dem Van Hool-Prototyp aus dem Jahr 1992 ein MAN-Antriebsaggregat (Euro-1) mit einer Motorleistung von 235 kW, bei der Lüttich-Variante ein MAN-Antriebsaggregat (Euro-2) mit einer Motorleistung von 250 kW, aktuell für die Verkehrsbetriebe Utrecht ein DAF-Dieselmotor Euro-3, 265 kW mit CRT-Filtertechnik. Die Verwendung dieses für den Linienbusverkehr leistungsstärksten Serienaggregats genügt bei einem vollbesetzten Fahrzeug nur befriedigenden Fahrleistungen, insbesondere dann, wenn überdies zusätzliche Nebenaggregate wie eine Klimaanlage mit Energie zu versorgen sind.



Bild A.4: Van Hool AGG 300, Lüttich

Bei einem Einsatz im flachen Land hat diese latente Untermotorisierung allerdings keinen Einfluss auf eine zügige Betriebsabwicklung. So ist beispielsweise der hochflurige B10-Metrobus in Curitiba ebenfalls nur mit einer angetriebenen Achse Nr. 2 unterwegs. Voll besetzt mit 270 Personen wiegt dieses Fahrzeug 36,5 t, leer 17,5 t. Bei einer Motorleistung von 210 kW wird damit nur ein sehr niedriger Kennwert von 5,75 kW/t erreicht – dennoch ist das System erfolgreich. Bei der Lüttich-Variante des Van Hool liegt das Verhältnis bei 20,3 t (leer) zu 34,7 t (besetzt). Der verwendete Serienmotor von MAN leistet somit bei dem Van Hool-Prototypen beladen 7,2 kW/t. In Lüttich wird mit diesem Kennwert auf einem kurzen Streckenabschnitt mit einer Längsneigung von über 10% immerhin eine Beharrungsgeschwindigkeit von 30 km/h bei einem vollbesetzten Fahrzeug erreicht.

Folgende Überlegungen zeigen die grundsätzliche Betriebstauglichkeit nur einer Triebachse bei einem Doppelgelenkfahrzeug, beispielsweise



ausgebildet als Komfort-Fahrzeug mit über 60 Sitzplätzen und rund 80 Stehplätzen (4 Pers./m<sup>2</sup>). Bei einer Gesamtzahl von rund 140 Reisenden werden als rechnerische Größe immerhin 9 kW/t bei 265 kW Motorleistung erreicht. Ein Kennwert von 9 kW/t liefert im normalen Straßenverkehr der Städte beim „Mitschwimmen“ im Verkehrsfluss eine gute spezifische Leistung und eine akzeptable Steigfähigkeit. Unbeladen werden 12,2 kW/t erreicht.



Bild A.5: Van Hool AGG 300, Utrecht

Das Antriebskonzept nur einer Triebachse genügt also durchaus einem Betrieb in einem Einsatzgebiet ohne ausgeprägte Höhenunterschiede. Eine Verbesserung der Traktionsverhältnisse ist grundsätzlich durch eine mechanische Antriebsübertragung über ein Gelenk hinweg technisch umsetzbar, aus Platzgründen allerdings nur bei Hochflur-Gelenkbussen. MAN verwendete den Paralleltrieb bei seinem 23 m - Doppelgelenkbus SGG 200 zu Anfang der achtziger Jahre (Liniendienst als Erprobungsbetrieb in Wolfsburg und München), ebenso Renault V.I. bei dem Mégabus in Bordeaux oder beim Einfach-Gelenkbus PR 180. Es waren allesamt Schubgelenker mit Antrieb der jeweils beiden letzten Achsen. Auch die erste Standardbusgeneration (SG I) von Gelenkbusherstellern ohne das Patent für eine Knickschutzregelung (z. B. Magirus-Deutz) waren ebenfalls mit im Unterflurbereich angeordneten mechanischen Antriebssträngen über ein Gelenk hinweg ausgestattet. Nicht zuletzt bei dem Wunsch nach einem durchgehend ebenen und niederflurigen Wagenboden scheidet ein Gelenkwellenstrang aber aus.



Bild A.6: Bauart Van Hool AGG 300 im Stadtverkehr von Utrecht

Bei dem Van Hool-Niederflurkonzept muss zur Unterbringung des mechanischen Antriebsstranges vor der angetriebenen zweiten Achse ein Podest bei der Bestuhlung hingenommen werden (**Bild A.7**). Werden die Tankanlagen direkt auf den Radkästen untergebracht und damit vergleichsweise lange Wege des Dieselmotorkraftstoffs zur Antriebseinheit akzeptiert, sind keine weiteren Podeste notwendig. Der Fahrgast findet damit im hinteren Fahrzeugbereich einen ebenen Wagenkastenboden vor (**Bild A.8**).

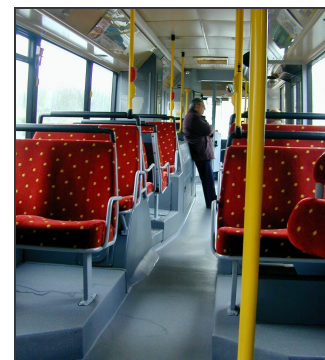


Bild A.7: Der Motorblock ist im ersten Wagenteil auf der linken Fahrzeugseite angeordnet; unter den Sitzpodesten sind zum Teil die Dieseltanks angeordnet, Beispiel Van Hool, Lüttich.

Die asymmetrisch angeordnete Antriebstechnik zeigte bei dem fort dauernden Lütticher Prototypeinsatz keine besonderen Verschleißerscheinungen. Durch eine weiche Lagerung des Motors und eine Vollkapselung des Motorraums konnte eine für einen Dieselmotor ausreichende Dämpfung von Schwingungen und störenden Geräuschen gegenüber dem Fahrgastraum und nach außen erreicht werden. Im letzten Wagenteil, immerhin rund 15 m von dem Motoraggregat entfernt, sind bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h nur Wind- und Abrollgeräusche der Gummi reifen zu hören – der subjektive Höreindruck ist bei dieser Geschwindigkeit deutlich angenehmer als bei elektrischen Straßenbahnen, wo Metall auf Metall trifft. Durch die zukünftige Anordnung der Motorkühlung auf



Bild A.8: Blick aus dem Wagenteil 2 des Van Hool AGG 300 nach hinten, Ausführung für Utrecht. Der Wagenkastenboden ist niederflurig und frei von Podesten.

dem Dach entfallen als Lärmquelle typische Rotationsgeräusche. Da durch die Dachanordnung der Fahrtwind zur Kühlung herangezogen wird, genügt eine geräuscharme Umwälzpumpe für die Motorkühlung. Dennoch ist festzustellen, dass die Verbrennungsmotortechnik dem elektrischen Fahrtrieb hinsichtlich störender Motorgeräusche insbesondere während der Beschleunigungsphase unterlegen ist.

Vorteilhaft bei der Bauart Van Hool ist die hohe Spurtreue durch die Anordnung von drei gelenkten Achsen. Neben der Vorderradlenkung sind die einfach bereiften Nachläuferachsen 3 und 4 mit einer aproportionalen Achsanlenkung ausgestattet. Hierbei erleichtert die strikte Trennung zwischen Trieb- und Laufachsen die Instandhaltung.

Die fahrdynamische Stabilität des Van Hool-Doppelgelenkers gibt keinen Anlass zur Kritik. Auch bei Geschwindigkeiten über 70 km/h sind keine Schlingerbewegungen festzustellen. Der Grad der bei Gelenkbussen in Längsrichtung der Wagenkästen typischen Nickbewegungen hängt von der Fahrbahnqualität ab und liegt bei dem Van Hool-Fahrzeug auf normal unterhaltenen Straßen im üblichen Bereich.

Alle genannten Bauprinzipien kommen auch bei dem Van Hool Standard-Gelenkbus AG 300 zum Einsatz (Motorkühlung mit Dachanordnung, Mittelachsenantrieb, asymmetrische Anordnung des Mittelmotors, aproportionale Ansteuerung der Nachläuferachse etc.). Bei dem Doppelgelenkbus AGG 300 kann daher von einer betriebsreifen Bauart ohne besondere Innovationsrisiken gesprochen werden.

#### A.1.4 Solobus mit Personenanhänger

Gleiches gilt auch für einen Buszug mit Personenanhänger, beispielsweise Bauart Scania OmniLink (Solobus) und Lanz&Marti/Hess (Personenanhänger, **Bild A.9**). Im Hinblick auf eine betriebsreife und wirtschaftliche Antriebskonzeption sind hierbei im Vergleich zu einem Doppelgelenkbus der Bauart Van Hool keine entscheidenden Unterschiede auszumachen. Zum Einsatz kommt bei dem 23,25 m langen Anhängergespann ein herkömmlicher, 2,55 m breiter Solobus (Scania-Dieselmotor Euro-3, 220 kW) mit einem heckseitig verstärkten Rahmen zur Aufnahme der Kupplungskräfte.



**Bild A.9:** Anhängergespann Scania Bus/Hess in der Kreisfahrt, Vorführfahrt Hürth

Der niederflurige Personenanhänger wird von Carrosserie Hess AG mit einem Aluminium-Aufbau (Schraubbauweise) hergestellt. Der Personenanhänger mit zwei gelenkten Achsen ist zwar getriebe- und motorlos,

dennoch aber in seiner weiteren Ausstattung durchaus mit einem Standardbus vergleichbar (**Bild A.10**). Die Beschaffungskosten eines Personenanhängers betragen bei einer Kleinstserie demzufolge rund 180.000 EUR.

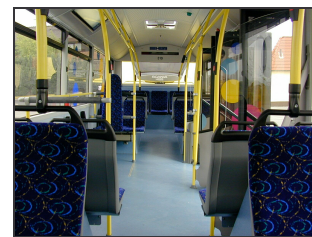
Grundsätzlich sollte bei einem Anhängerbetrieb vorausgesetzt werden, dass man das An- und Abkuppeln auch entsprechend dem betrieblichen Kapazitätsbedarf konsequent ausnutzt. Das heißt zwingend:

- Freifläche als Abstellanlage oder Betriebshof im Streckenverlauf
- Einfaches Kuppeln im Ein-Mann-Betrieb ohne Kuppelposten mittels heckseitiger Kameraüberwachung

Die Veränderung des Platzangebots durch das An- oder Abkuppeln des Personenanhängers gestaltet sich in der Betriebspraxis je nach den örtlichen Gegebenheiten (z. B. Lage der Einsatzpunkte und Betriebshof) schwierig. Unter Umständen ist die Bereitstellung eines zeitweisen Überangebots wirtschaftlicher als eine Veränderung des Fassungsvermögens. Nach praktischen Erfahrungen wird man beispielsweise den Anhängerbetrieb in Lausanne, wo es 69 Obus-Anhänger gibt, davon 20 in niederfluriger Ausführung, mittelfristig durch diesel-elektrische Gelenk-Duobusse N 6121 von Neoplan ersetzen. Anhängerzüge verkehren im Übrigen auch in Luzern (Obus) und Zug (beide Schweiz) sowie in zahlreichen osteuropäischen Ländern. Ein Vorführ- und Probetrieb fand im Jahr 2000 u. a. in Oberhausen statt (**Bild A.11**).

Vorteile des Anhängerbetriebs sind im Allgemeinen: keine leeren Busse in der Neben- und Schwachlastzeit, Energieeinsparungen, keine für den Gelenkbus typischen Nickbewegungen, da beide Wagenkästen – Zugfahrzeug sowie vierradgelenkter Anhänger – jeweils auf zwei Achsen aufliegen. In dem Personenanhänger sind Motorgeräusche nicht hörbar. Der 90°-Knickwinkel zwischen Solobus und Anhänger stellt im Zusammenspiel mit den drei angelenkten Achsen eine hervorragende Wendigkeit sicher (**Bild A.12**). Durch die Kapazitätsanpassung könnte auch ein angenehmerer Dienstplan für die Busfahrer ohne geteilte Dienste erstellt werden, da Verstärkungsfahrten entfallen. Anhängergespanne können die Werkstätten der vorhandenen Betriebshöfe ohne bauliche Anpassungen nutzen. Nachteile des Anhängerbetriebs sind: Das Kuppeln stellt eine Zusatzaufgabe für die Busfahrer dar; es ist kein Fahrgastfluss zwischen den Fahrgastzellen möglich; subjektive Fahrgastsicherheit ist nur über eine Videoüberwachung erzielbar.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass dem Anhängerbetrieb im innerstädtischen Fahrgastbetrieb ohne extreme Aufkommensspitzen (wie beispielsweise beim Pendler- und Schülerverkehr) nur begrenzt eine Marktchance eingeräumt werden kann. Zu groß sind Bedenken hinsichtlich der Fahrgastsicherheit im Personenanhänger. Eine Kameraüberwa-



**Bild A.10:** Niederfluriger Personenanhänger, Beispiel Luzern



**Bild A.11:** In Oberhausen konnte ein Anhänger-gespann aus Tallinn (Estland) im Fahrgastprobetrieb eingesetzt werden



**Bild A.12:** Mechanische Deichsel



**Bild A.13: Monitor mit dem Überwachungsbild aus dem Personenanhänger**

chung ist hier ein hilfreicher, aber unbefriedigender Ansatz (**Bild A.13**). Ein durchgängig begehrtes Fahrzeug wird bevorzugt werden und steht mit der Bauart Van Hool in einer Niederflurversion auf günstigerem Kostenniveau zur Verfügung. Dies schließt nicht aus, dass im Pendler- und schülerverkehr oder bei regelmäßigen Veranstaltungssonderverkehren der Busanhänger – hier dann auch mit Kupplungsvorgängen – einen wirtschaftlichen Einsatzbereich findet.

## A.2 Elektrischer Fahrtrieb mit Oberleitung

### A.2.1 Lokale Emissionsfreiheit

Städtische Bahnen werden traditionell elektrisch betrieben. Bei den zum Einsatz kommenden Fahrzeugdimensionen und Massen der Schienenfahrzeuge ist insbesondere der elektrische Mehrachs Antrieb bei den heutigen Anforderungen einer attraktiven Beschleunigung und Beförderungsgeschwindigkeit unabdingbar. Auch wenn im Schienenverkehr eher geringe Längsneigungen zu bewältigen sind, ist im Fahrbetrieb die Aufbringung zum Teil erheblicher Zugkräfte erforderlich. Bei Bussystemen besteht wegen den geringeren Fahrzeugdimensionen und Massen – und damit die Möglichkeit, die wirtschaftliche Nutzfahrzeug-Dieselseltechnik zu verwenden – kein technischer Zwang, auf einen elektrischen Fahrtrieb zurückgreifen zu müssen.

Die mindestens am Einsatzort nicht vorhandene lokale Abgasemission elektrisch betriebener Fahrzeuge, das sind meistens die hochbelasteten Innenstadtzonen, ist hervorzuheben. Eine reduzierte Freisetzung u. a. des Treibhausgases  $\text{CO}_2$  und damit eine Reduzierung der global wirksamen Emissionen ist allerdings eine Frage des Energiemixes des Energielieferanten. Beispielsweise wird in Frankreich, Norwegen, Schweiz, Schweden und Quebec (Kanada) annähernd der gesamte Strom ohne Verbrennung fossiler Brennstoffe (nuklear bzw. regenerativ) erzeugt. Dort besitzen elektrisch betriebene Schienenfahrzeuge und Obusse Zero-Emission-Status.

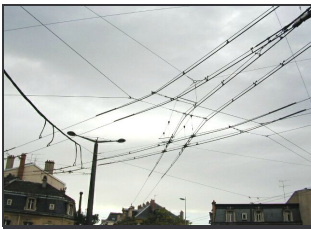
### A.2.2 Obus

Trotz der vorteilhaften Betriebsweise – geräuscharm, frei von Schaltvorgängen, beschleunigungsstark – ist der elektrische Fahrtrieb eine Domäne des städtischen Schienenverkehrs geblieben. Eine breite Durchsetzung im Rahmen einer verstärkten Umfeldverträglichkeit hat bei Antrieben des straßengebunden Personenverkehrs, insbesondere im Hinblick auf die hohe Kostensituation, nicht stattgefunden. Immerhin ist der



Preis von Obussen bezogen auf die Fahrzeugfläche knapp zweimal so hoch wie ein entsprechendes dieselbetriebenes Fahrzeug und liegt bei Gelenk-Obussen im Bereich von 0,5-0,6 Mio. EUR bei einer Nutzungsdauer über 15 Jahren.

Die geringere Flexibilität des Obus-Betriebs durch die Abhängigkeit von einem Fahrdrabt wird häufig als Nachteil angesehen. Im Schienenverkehr ist durch die Spurbindung der Fahrzeuge die Flexibilität ohnehin auf einem viel niedrigeren Niveau als bei Straßenfahrzeugen definiert, so dass hier die Bindung an den Fahrdrabt ohne Einfluss ist. Die Kosten für Fahrleitungen und zugehörige Infrastruktur stellen im Schienenbereich darüber hinaus im Gegensatz zu einem Obussystem nur einen zusätzlichen Kostenfaktor zu den hohen Fahrwegkosten dar (NIEMANN 1984, S. 61).



**Bild A.14:** Verspannungsdrähte, Fahrdrähte und Stromspeisekabel, Beispiel Nancy

Bei Obussystemen muss darüber hinaus offener Augen konstatiert werden, dass durch die Notwendigkeit einer zweipoligen Oberleitungsanlage kaum politische Zustimmung bei neuen Projekten erwartet werden kann. Bei Diskussionen mit Fachleuten, Betreibern, Politikern und Benutzern wird als großer Nachteil elektrisch betriebener Busse sehr häufig der optische Eindruck der Fahrleitungen angeführt, die als störend und unästhetisch angesehen werden. Aufwändige Abspannungen der Kurvenschienen, Kreuzungen und Weichen prägen und prägen das Bild in den Obus-Städten (**Bild A.14**).



**Bild A.15:** Drehstrom-Asynchronmotor mit Gelenkwelle zur angetriebenen Mittelachse, Beispiel Berkhof/Traxis Gelenk-Obus

Unter diesen Randbedingungen hat ein Doppelgelenkbus bisher wenig Beachtung als eine Obus-Variante gefunden. Dabei fielen die Mehrkosten einer elektrischen Antriebseinheit bei einem Obus als Doppelgelenker deutlich weniger stark ins Gewicht als beispielsweise bei einem Solo-Obus. So könnte beispielsweise das Bauprinzip mit mechanischem Antriebsstrang der neuen Solinger Gelenkbusse Premier AT 18 der Firmen Berkhof/Traxis sowie des AG 300T der Firmen Van Hool/Kiepe Verwendung finden. Die elektrischen Drehstrom-Asynchronmotoren mit mechanischem Antriebsstrang (Meritor-Achse) verfügen bei beiden Bauarten über rund 170 kW Dauerleistung und sind in Fahrtrichtung links vor der Mittelachse angeordnet, so dass durch dieses Fahrzeugkonzept gewährleistet ist, dass der Bus einen stufenlosen Einstieg an allen Türen bietet. Sicherlich sollten bei der Entwicklung eines modifizierten elektrischen Antriebskonzeptes die wertvollen Erkenntnisse der Inbetriebnahme der Solinger und Esslinger Fahrzeuge einfließen (**Bild A.15**).

Im Gegensatz zur diesel-hydraulischen Version eines Buszuges besteht bei einem elektrischen Antrieb keine Untermotorisierung, auch die Geräuschemissionen sind stark reduziert. Daneben ermöglicht die Überlastbarkeit des Elektromotors und die externe Energieversorgung eine Dimensionierung des Antriebs auf gute Traktionsleistung. Unabhängig

hiervon kann zeitgleich die hohe von den Nebenaggregate benötigte Energiemenge über die Fahrdrahtanlage eingespeist werden, ohne dass die Traktion an Leistung verliert. Gegebenenfalls wäre das Zwischenschalten eines Getriebes in Erwägung zu ziehen, damit Spitzenkräfte (beispielsweise bei einer Berganfahrt) nicht unverhältnismäßig hohen Verschleiß am mechanischen Antriebsstrang nach sich ziehen. Eine Verbesserung der Traktionsverhältnisse wird nicht erreicht, da bei der Verwendung eines Einzelmotorantriebs nach wie vor nur eine Achse angetrieben wird. Natürlich könnten auch zwei konventionelle Drehstrom-Asynchronmotoren mit mechanischem Antriebsstrang (z. B. Achse 2 und 3; Entwurf von Carosserie Hess/Kiepe Elektrik) eingesetzt werden, um die Traktion zu verbessern. Das würde aber zum einen den Niederfleranteil senken, zum anderen nur noch zwei Lenkachsen ermöglichen.

Zusammenfassend ist bei Obussen im Gegensatz zu städtischen Schienensystemen anzunehmen, dass sie sich trotz der hohen Umfeldverträglichkeit nur in den Ländern mit einer weitgehenden Energieerzeugung ohne fossile Brennstoffe und in Städten mit einer bewegten Topographie, die Nahverkehrsfahrzeuge mit einer hohen Steigfähigkeit bei gleichzeitiger Geräuscharmheit erfordern, behaupten können. Im Vergleich zu Nord- und Südamerika sind Neu- bzw. Ausbauten derzeit in Europa, mit Ausnahme von Italien, beispielsweise Bologna, Genua, Rom, Savona etc., kaum zu erwarten.

### A.2.3 Duobus

Duobussysteme, fahrzeugtechnisch ausgestattet mit einem vollwertigen Elektroantrieb für Fahrten unter der Oberleitung auf einer Stammstrecke und ergänzend dazu mit einem vollwertigen Dieselaggregat für eine flexible, fahrdrahtfreie Feinerschließung, sollten die Kosten für Fahrleitungen und zugehörige Infrastruktur minimieren und die Durchdringung des Verkehrssystems Obus forcieren. Es hat sich aber gezeigt, dass zwei Antriebe schwerer, teurer und störanfälliger sind als nur einer. Eine höhere Konsensfähigkeit durch die Begrenzung der Fahrleitungsanlage konnte auch nicht festgestellt werden. Tatsache ist, dass der Duobusprobebetrieb mit Gelenkbussen beispielsweise in Essen und Esslingen wieder eingestellt worden ist, u. a. angesichts der hohen Beschaffungskosten einer Niederflur-Fahrzeuggeneration.

Die Gründe für die Einstellung des Duobusbetriebs in Esslingen seien hier näher beleuchtet. So wird dort Abschied vom Duobus nach der so genannten „Großen Betriebserprobung“ genommen, wenngleich zunächst nur auf Raten, da die Verträge mit dem Bund, der den Referenzbetrieb im Rahmen eines Forschungsauftrags gefördert hat, erst im Jahr 2003 auslaufen. Die Werksleitung merkt an, dass die Fahrzeuge zu kostenintensiv seien. Der Esslinger Finanzbürgermeister kommt zu dem



Bild A.16: GLT/TVR auf dem Betriebs-  
hof beim Versuchseinsatz auf der  
Trans Val de Marne, Paris. Das Fahr-  
zeug ist auf dem Betriebshof diesel-  
elektrisch und handgelenkt unterwegs.

ernüchternden Fazit, dass die zehn Jahre Duobusprobetrieb in hohem Maß unwirtschaftlich gewesen seien (DORN 2000, S. 3). Der Städtische Verkehrsbetrieb Esslingen (SVE) setzt nun anstatt auf ein fahrzeugseitiges Kombinationskonzept auf ein betriebliches Mischkonzept mit dieselbetriebenen Linien und durchgängigen Obuslinien.

In Esslingen konnte festgestellt werden, dass der Obus bei der Anfahrt 9 dB(A) leiser ist als ein Dieselbus, keine lokalen Emissionen verursacht, als Marketinginstrument eingespannt werden kann und darüber hinaus mit einem dieselbetriebenen Gelenkfahrzeug wirtschaftlich mithalten kann. Die Betriebskosten sind pro gefahrenen Kilometer nur um 8% höher als beim Dieselfahrzeug (MOHL 2000, S. 14). Weil der Obus emissionsfrei fährt, fällt keine Abgasuntersuchung, außerdem kein Ölwechsel und kein Getriebeaustausch an (beim diesel-hydrmechanischen Antrieb nach acht Jahren).

Entscheidend für eine Fortsetzung des Obusbetriebs in Esslingen, aber auch in Solingen und Eberswalde, ist neben einer anspruchsvollen Topographie die vorhandene und dem Stand der Technik entsprechende Fahrleitungsanlage. Bei einer Neueinrichtung verteuert sich der Obusbetrieb durch die Abschreibung der Investitionskosten.

Es bleibt festzustellen, dass die klassischen Duobuskonzepte mit einem Netz-/Diesel-Antrieb und zwei mechanischen Antriebssträngen keine Rolle mehr auf dem Verkehrsmarkt spielen. Bei aktuellen „Duobus“-Weiterentwicklungen wird durch die diesel-elektrische Variante mit der Beschränkung auf einen elektrischen Antriebsstrang (Verbrennungsmotor mit Generator, gegebenenfalls als Hybridantrieb mit Speichermedium) ein neuer Weg beschritten.



Bild A.17: Fahrgastraumvariante  
des GLT/TVR. Blick aus dem  
Wagenteil Nr. 3 nach vorne

## A.2.4 Duo-Spurbus

Bekanntes Beispiel einer weiterentwickelten Duobus-Bauart mit einem Verbrennungsmotor als Generator ist der GLT/TVR (Guided Light Transit/Transport sur Voie Réservée), der nach über 15 Jahre Entwicklungszeit erstmalig in Nancy im Linienbetrieb zum Einsatz gekommen ist. Der GLT/TVR ist ein Netz-/DE-Doppelgelenkbus, der mittels schienengeführter Lenklaufwerke abschnittsweise mechanisch spurgeführt wird (Duo-Spurbus).

Der GLT/TVR ist in seiner aktuellen Niederflur-Variante für die französischen Städte Caen und Nancy 24,48 m lang, 2,49 m breit und wiegt leer rund 25,5 t (Flächengewicht: 418 kg/m<sup>2</sup>). In Nancy werden die Beschaffungskosten mit 1,9 Mio. EUR angegeben (Flächenkosten: 31.000 EUR/m<sup>2</sup>) – deutlich teurer als beispielsweise eine vergleichbare Systemstraßenbahn (Bild 16 u. 17).

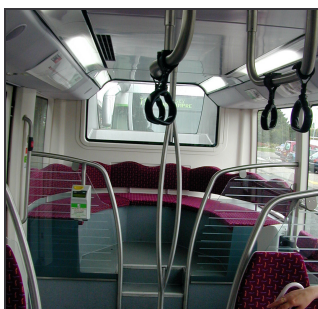


Bild A.18: Sitzgruppe über der an das Heck verschobenen Hinterachse. Die Generatorereinheit befindet sich in dem Bau-  
raum unter der Fensteröffnung im Heck.

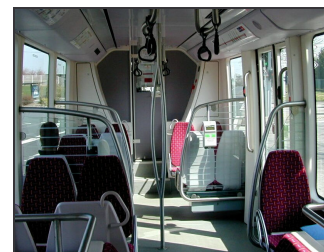
Der für einen Omnibus sehr gute Fahrkomfort im handgelenkten Modus ist bemerkenswert, allerdings vornehmlich auf die beträchtliche Fahrzeugmasse zurückzuführen. Die Beförderungskapazität hängt von der zulässigen Achslast ab und wird mit über 140 Personen (4 Pers./m<sup>2</sup>) angegeben. Die angetriebene vordere und hintere Achse ist jeweils weit an das Fahrzeugheck bzw. den -bug versetzt, um nur vier Radkästen im Fahrgastinnenraum anordnen zu müssen (**Bild A.18**).



**Bild A.19:** Angetriebene Vorderachse mit dem Führungsgestell unter der Fahrerkabine. (LA VIE DU RAIL)

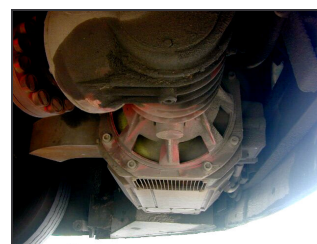
In der Fahrerkabine wird eine Bodenhöhe von 780 mm erreicht, hinten im Wagen 710 mm. Diese Höhe erfordert zwei Stufen, um eine Sitzgruppe am Heckende über den darunterliegenden Radkästen zu erreichen. Die hintere, über eine Stufe erreichbare Sitzgruppe würde bei einer neuerlichen Überarbeitung niederflurig angebracht werden. Bei den aktuellen Busbahnkonzepten anderer Hersteller ist die angetriebene Hinterachse direkt unter das Antriebsaggregat verschoben (Power-Pack-Lösung), und nicht davor angeordnet. Die ebenfalls angetriebene Vorderachse befindet sich unter der hochflurig angeordneten Fahrerkabine (**Bild A.19**). Insgesamt wirkt das Fahrzeug durch die recht breiten, querstehenden Gelenkportale, die nur kleinen Heckscheibe und die undurchsichtige Verkleidung der Fahrerkabine wenig transparent (**Bild A.20**).

Der GLT/TVR steht wegen konzeptioneller Schwächen im Bereich der Spurführung an einer Monoschiene in der Kritik. Zu bemerken ist aber auch, dass es im Bereich des Antriebs durch die Wahl konventioneller E-Technik bei dem GLT/TVR-System in Nancy – bis auf Anfangsprobleme bei der bei Obussen notwendigen dreifachen Isolierung gegen unzulässig abgreifbare Spannungen – keine Probleme gegeben hat. Bei der niederflurigen Version wird im Gegensatz zu den allerersten hochflurigen Prototypen die Vorder- und Hinterachse im zentralen Achsantrieb mit Differential jeweils über einen bewährten radnahen (Straßenbahn)-Asynchronmotor unter einem Winkel von 45° angetrieben (**Bild A.21**). Die Leistungszahl beträgt bei elektrischem Betrieb 12 kW/t. Die beiden 150 kW-Drehstrom-Asynchronmotoren an den Achsen 1 und 4, versorgt von einem fahrtwindgekühlten Wechselrichter von Alstom, sind geräuscharm und liefern gute Beschleunigungswerte, die insbesondere in Nancy im Bereich einer 14% - Steigung im alltäglichen Betrieb erzielt werden. Verbesserungswürdig ist allerdings die Abstimmung der elektrodynamische Bremse im Übergangsbereich zum Stillstand. Die pneumatische Bremse greift hier eher ruckartig ein.



**Bild A.20:** GLT/TVR in Nancy, geschlossene Fahrerkabine. Wie im Heckbereich bedingt die Antriebseinheit zwei Stufen.

Der Cummins-Dieselmotor für den diesel-elektrischen Betrieb ist am Fahrzeugheck querliegend eingebaut und liefert 221 kW. Es stehen damit 7,88 kW/t zur Verfügung (HONDIUS 1998, S. 66). Der diesel-elektrische Betrieb erfordert hierbei eine Kraftstoffbereitstellung von rund 85 l/100 km. Deshalb bemüht sich Bombardier klarzustellen, dass der GLT/TVR für einen Regelbetrieb unter Fahrdraht ausgelegt ist und der



**Bild A.21:** Asynchronmotor des GLT/TVR an der letzten Achse. Konventionelle Antriebstechnik, die allerdings viel Bauraum benötigt.



**Bild A.22:** GLT/TVR in Nancy – unterwegs als handgelenkter Obus unter einem doppelpoligen Fahrdrabt. Interessant ist die Fahrbahnmarkierung für den ÖPNV im Straßenkreuzungsbereich.

diesel-elektrische Antrieb nur dazu dient, die betriebliche Stömpfindlichkeit zu senken. Der diesel-elektrische Antrieb hat damit den Charakter eines Nothilfsaggregats, d. h. der überwiegende Linienbetrieb erfolgt unter dem Fahrdrabt. Hierbei kann auf eine Einfach-Fahrdrabtanlage zurückgegriffen werden, da die Stromrückleitung generell über die Monoschiene möglich ist, sofern die Spurführungsrollen abgesenkt sind. In Nancy, dem ersten Anwendungsfall, wird allerdings auf die vorhandene zweipolige Oberleitung zurückgegriffen. Im Gegensatz zu den diesel-elektrischen Busbahnen, bei denen ein On-Board-Energiemanagement über Speichermedien im Vordergrund steht, zeigen die ersten beiden Anwendungsfälle in Nancy und Caen, dass die Fahrdrabtanlage fester Bestandteil des Betriebskonzepts ist (**Bild A.22**).



## A.3 Busbahnen mit Verbrennungsmotor/Generator-Aggregat

### A.3.1 On-Board Stromerzeugung

Der Duobusbetrieb mit mechanischen Antriebssträngen für den elektrischen und den dieselbetriebenen Modus zeigte nicht den gewünschten Erfolg. Bei der Antriebslösung mit einem Verbrennungsmotor/Generator-Aggregat wird der elektrische Fahrtrieb beibehalten, allerdings wird hierbei die elektrische Energie nicht wie bisher über eine Fahrdrahtanlage zugeführt, sondern es wird ein Generator zur On-Board Stromerzeugung direkt am Verbrennungsmotor angebracht, um die Leistung des Motors in elektrische Energie umzuwandeln. Der mechanische Antriebsstrang kann auf diesem Weg im Fahrzeug durch eine Leistungsübertragung „per Stromkabel“ ersetzt werden, wodurch neue Lösungen der Aggregate- und Motoranordnung möglich werden.

Insbesondere bei dem Wunsch, zwei Achsen einer dreiteiligen Niederflurvariante anzutreiben, um gute Traktionseigenschaften zu erhalten, ist die elektrische Leistungsübertragung der technisch einzige umsetzungsfähige Weg. Es können die einzelnen Räder jeweils mit einem Hochleistungs-Elektromotor angetrieben werden, die paarweise unmittelbar in den Radkästen oder wie beim Cavis direkt in den Radnaben (Radnabenmotor) untergebracht sind. Als mobile Energiewandler sind grundsätzlich denkbar:

- Diesel-Motor mit Generator
- Gasturbine mit Generator.

Akzeptiert man den Verbrennungsmotor-Generator im Heck des Großraumfahrzeugs (Power-Pack, **Bild A.23**), ermöglicht der diesel-elektrische (oder gas-elektrische) Antrieb eine freiere Busgestaltung im Vergleich zu der Verwendung eines konventionellen mechanischen Antriebsstranges. Ein durchgängig niederfluriges Fahrzeug ohne Rampen und Stufen im Fahrgastraum (bis auf die unvermeidlichen, teilweise sehr großen Radkästen) ist auf diesem Wege einschließlich mehrerer angetriebener Achsen technisch realisierbar.



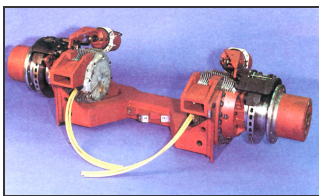
Bild A.23: Power-Pack beim Cavis

### A.3.2 Der elektrische Einzelradantrieb

Bei der radnahen und der Radnabenmotortechnik konnten zu Anfang der Entwicklung nicht mehr als 45 kW pro Rad elektrisch übertragen werden, so dass bereits bei einem Einfach-Gelenkbus auf vier angetriebene Räder zurückgegriffen werden musste, um eine ausreichende Antriebsleistung sicherzustellen. Heute liegt der Entwicklungsstand bei über 80 kW/Rad (hier setzt ohnehin die On-Board Energieerzeugung eine Grenze), dennoch sollten angetriebene Radpaare an mindestens zwei Achsen vorgesehen werden, um eine besonders gute Traktion und eine hohe Fahrstabilität zu erreichen. Mit einer Energiezufuhr per Stromkabel ist das auch bei Niederflurfahrzeugen über ein Gelenk hinweg kein technisches Problem.

Demnach gilt also für Niederflur-Großraumfahrzeuge: Bei einem mechanischen Antriebsstrang des Buszuges ist nur eine Antriebsachse technisch umsetzbar (diesel-hydrmechanischer oder elektrischer *Einzelmotorantrieb*), bei der radnahen bzw. der Radnabenmotortechnik der Busbahn wird dagegen die Vortriebskraft auf mindestens vier Räder bzw. zwei Achsen verteilt (diesel-elektrischer bzw. gas-elektrischer oder elektrischer *Einzelradantrieb*).

Eine elektrische Steuerung sorgt beim elektrischen Mehrachs Antrieb für die richtige Leistungsbemessung. Die Aufgabe des Differentials wird von einer elektrischen Steuerung übernommen, mit der je nach den Erfordernissen die radnahen bzw. Radnabenantriebe der rechten und linken Seite als Gruppenantrieb unterschiedlich beeinflusst werden. Damit werden hervorragende Traktionseigenschaften erzielt werden, wobei eine Antischlupfregelung (ASR) und ein Antiblockiersystem (ABS) integriert sind. Die Bemessung der elektrischen Antriebskraft berücksichtigt die jeweiligen Haftverhältnisse der Räder zur Fahrbahn.



**Bild A.24:** Portalachse - die nach unten gekröpfte starre Hinterachse mit den Radnabenantrieben ermöglicht einen durchgehend niederen Fahrzeugboden (MERCEDES BENZ OMNIBUSSE)

Bei EvoBus steht darüber hinaus die Idee im Raum, durch eine intelligente Ansteuerung der Vortriebskraft jedes einzelnen Rades auf eine Knickschutzregelung zu verzichten. Im Hause Neoplan konnte bei Testfahrten mit dem Vierrad-angetriebenen Einfach-Gelenkbus N 6141 bereits das Fahrverhalten eines derartigen Fahrzeugs im Winter analysiert werden. Die Antriebselektronik sorgt für einen zufriedenstellenden Gleichlauf der vier angetriebenen Räder, so dass der Ansatz, komplett auf eine Gelenkstabilisierung zu verzichten, weiterverfolgt werden könnte (LEE 2000, S. 12).

### A.3.3 Evolutionäre Busbahn



EvoBus und Irisbus sind die beiden Hersteller, die auf ein evolutionäres Konzept bei der Entwicklung eines Doppelgelenkbusses – sieht man von der innovativen Verwendung der radnahen und Radnabenmotortechnik ab – gesetzt haben. Angelenkt wären bei der evolutionär entwickelten Busbahn die Achsen 1 und 3. Für den Antrieb würden die Achsen 2 und 4 verwendet, wodurch eine klare funktionale Unterteilung zwischen gelenkten Laufachsen und angetriebenen Starrachsen mit elektrischem Einzelradantrieb besteht. Der StVZO-Kreis wird bei einem solchen Doppelgelenkfahrzeug erfüllt, da die vordere und hintere Achse wie beim Standardbus zurückversetzt sind, um den Achsabstand nicht zu groß werden zu lassen. Bei diesem Bauprinzip ist zum einen die Fahrzeuglänge auf höchstens 24 m begrenzt, zum anderen verbleiben alle Radkästen in der Fahrgastzelle. Eine berührungslose Spurregelung kann und soll bei allen Busbahnen zumindest an den Haltestellen zum Einsatz kommen.

Bild A.25: Entwurf eines 24,00 m langen, diesel-elektrisch angetriebenen Doppelgelenkers. Nur zwei angelenkte Achsen würden die Manövrierfähigkeit erschweren. (EvoBus)



Bild A.26: Civis in der Einfach-Gelenkausführung, Beispiel Rouen

EvoBus hat bereits bei dem Erprobungseinsatz in Stuttgart auf der Linie 42 mit 17 Fahrzeugen der Einfach-Gelenkversion 0 405 GNDE mit radnahen Motoren (4 x 75 kW) an der mittleren und hinteren Starrachskonstruktion (ZF E-DRIVE) Erfahrungen gesammelt (**Bild A.24**). Der 0 405 GNDE ist 17,98 m lang, 2,50 m breit und wiegt leer 18,50 t (Flächengewicht: 412 kg/m<sup>2</sup>).



Bild A.27: Civis, Heckansicht

Eine geringere Schallemission als bei einem herkömmlichen Diesellagregat konnte bei der GNDE-Version nicht erreicht werden. Auch die spezifischen Kraftstoffverbräuche bezogen auf die Fahrzeugmasse lagen im Vergleich zum klassischen Antrieb des O 405 G durchschnittlich um 30% höher, da aufgrund des diesel-elektrischen Antriebs eine deutliche Gewichtserhöhung um rund 20% gegenüber dem Standardmodell O 405 G auftrat (vier E-Motoren, Leistungselektronik; außerdem extreme Niederflurbauweise, Klimaanlage etc.).

Bei einer Doppelgelenkversion bestünde der Mehraufwand im Vergleich zu einem Einfach-Gelenkbus nun darin, ein zusätzliches Wagenteil mit einer mechanisch oder elektrohydraulisch angelenkten Achse zwischen dem jetzigen Vorderwagen und dem Nachläufer einzuhängen und für ausreichende fahrdynamische Stabilität dieses Doppelgelenkbusses zu sorgen. EvoBus sieht aber nach diversen Anstrengungen und den großen technischen Problemen in Stuttgart zur Zeit keinen Markt für eine Busbahn – angesichts eines Verkaufspreises im Bereich von deutlich über einer Million Euro und kaum kalkulierbaren Instandhaltungskosten durchaus verständlich – und hat die Arbeiten an der Weiterentwicklung des 24 m - Busbahn-Prototypen vorläufig eingestellt (**Bild A.25**). Eine wesentliche Rolle spielt hierbei aber auch die Grundsatzentscheidung

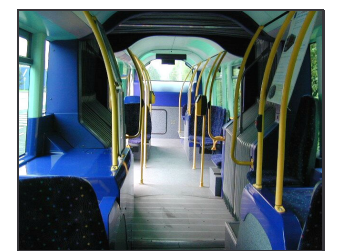


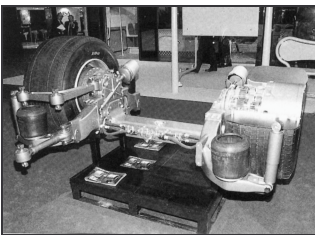
Bild A.28: Blick in das Heck des Civis. Der Radnabenmotorantrieb ermöglicht einen breiten Durchgang auch im Bereich der Radkästen.

von DaimlerChrysler, sich vorrangig auf die Brennstoffzellentechnologie zu konzentrieren, womit für parallele Entwicklungen kaum Gelder zur Verfügung stehen.



**Bild A.28:** Rostfreistählerne Bodenplatte, Seitenwände, Front, Dach sowie GfK-Heck werden zusammenschraubt. (IRISBUS)

Auch Irisbus hat bei der Entwicklung des diesel-elektrischen Civis für Clermont-Ferrand, Rouen und Las Vegas die wirtschaftlichen Grenzen des technisch Machbaren erkannt und sein Angebot auf eine Designer-Einfach-Gelenkversion beschränkt, vergleichbar mit dem Bauprinzip der diesel-elektrischen EvoBusse in Stuttgart, wobei die EvoBus-Antriebseinheit im Heckbereich querliegend und die des Civis querstehend angeordnet ist. Das entspricht näherungsweise der Serienausführung des Evobus Citaro oder des Renault Agora. Allerdings wurde die Fahrzeuglänge des 2,55 m breiten Civis auf 18,43 m erhöht, um die durch den mittigen Fahrer Arbeitsplatz verlorene Nutzfläche wettzumachen und dennoch die Chassis-Standardstruktur des Agora annähernd beibehalten zu können (**Bild A.26-28**).



**Bild A.29:** Antrieb mit Radnabenmotor und zweistufigem Planeten-Getriebe. (HONDIUS)

Das diesel-elektrische Fahrzeug wiegt leer insgesamt 22,9 t (Flächengewicht: 487 kg/m<sup>2</sup>) und ist mit einer elektrischen Ausrüstung von Alstom ausgestattet. Die wassergekühlten Radnabenmotoren sind 80 kW - Asynchronmotoren, die Michelin-Single-Reifen antreiben. Vorgeschaltet ist ein zweistufiges Planeten-Getriebe. In Kombination mit einem Michelin-Single-Reifen ist eine Gangbreite von 860 mm möglich. (**Bild A.29**).



**Bild A.30:** Cristalis – Obusversion in Lyon (TCL)



**Bild A.31:** Niederflriger Wagenkastenboden und Lichtöffnungen im Fahrzeugdach, Beispiel Cristalis in Lyon (TCL)

Im Gegensatz zu dem diesel-elektrischen Antrieb von EvoBus/ZF besteht bei Irisbus/Alstom noch keine hinreichend lange Erprobungsdauer der Radnabenmotortechnik im Linienverkehr – wenngleich die zu investierenden Entwicklungs- und Erprobungskosten in einem vergleichsweise günstigen Licht erscheinen, betrachtet man den Anlass der Anstrengungen und das französische Marktpotential: In Frankreich gibt es fünf Obus- und ein Duobussystem mit etwa 300 Obussen und 58 Duobussen (Grenoble, Limoges, Lyon, Marseille, Nancy, St. Etienne), wobei die Auslieferung der letzten Obus-Fahrzeuggeneration überwiegend zwischen Ende der siebziger und Anfang der achtziger Jahre erfolgte. Die französische Gesetzgebung über die Luftverunreinigung in Städten ist nur schwer zu befolgen und die Chance, dass eine Stadt ihre elektrisch angetriebenen Fahrzeuge durch Dieselsebusse ersetzen darf, erscheint gering. Renault V.I. bzw. Irisbus, der Hersteller aller Obusse in Frankreich, bemühte sich daher insbesondere auf Wunsch der Verkehrsbetriebe von Lyon zu Beginn der neunziger Jahre um die Entwicklung eines bezahlbaren Designer-Obusses (HONDIUS 1998, S. 61/69). Irisbus konnte demnach mit einem gesicherten Auftragsstamm rechnen, was durch die Bestellung von mittlerweile 204 Cristalis-Obussen mit Radnabenantrieb (SYSTRAL, Lyon; SEMITAG, Grenoble; STUS, St. Etienne), auf denen der Civis aufbaut, verdeutlicht wird (**Bild A.30 u. A.31**).



### A.3.4 Individuelle Busbahn mit Power-Pack

Die aktuellen Fahrzeugentwicklungen der Hersteller Neoplan (STS) und der APTS (Phileas) lösen sich im Gegensatz zu EvoBus und Irisbus deutlich von einem Upgrade des Großserienprodukts Gelenkbus und setzen auf gänzlich neue Fahrzeugkonzeptionen. Der Generator ist jeweils bauraumtechnisch vorteilhaft am Heck des Fahrzeugs als kompaktes Power-Pack platziert. Wird darüber hinaus die Vorderachse in den Bereich eines erhöhten Fahrerarbeitsplatzes gelegt, entfallen bei einem Doppelgelenkbus vier der acht Radkästen zugunsten einer niederflurigen Fahrgastzelle, so geschehen bei dem Phileas-Fahrzeugkonzept (**Bild A.32 u. A.33**).

Der Phileas ist in der Doppelgelenkversion 24,50 m lang, 2,54 m breit und soll leer rund 21 t wiegen (Flächengewicht: 340 kg/m<sup>2</sup>; **Bild A.34**). Die Beschaffungskosten werden mit rund 1,2 Mio. EUR angegeben (Flächenkosten: 19800 EUR/m<sup>2</sup>). Der Antrieb der Achsen 2-4 erfolgt mit an der Karosserie aufgehängten, radnahen 35 kW Traxis-Motoren, die von jeweils einem Wechselrichter mit IGBT-Transistoren versorgt werden. Die On-Board Energieerzeugung erfolgt mit einer LPG- (Flüssiggas-) Motor-/Generatorgruppe.

Das Versetzen der Achsen an die Fahrzeugenden ergibt bei dem Phileas einen sehr langen Radstand, dem zur Einhaltung einer ausreichenden Spurtreue mit einer technisch nur aufwändig herzustellenden Lenkfähigkeit der angetriebenen Achsen begegnet werden muss – bei dem Phileas-Fahrzeug werden alle Achsen elektro-hydraulisch gesteuert. Der bauraumtechnische Vorteil muss also mit erheblichem technischen Mehraufwand und möglicherweise höherem Instandhaltungsaufwand bei Antrieb und Mehrachslenkung erkauft werden (**Bild A.36**).

Auch bei Neoplan beschäftigte man sich ausführlich mit der Idee eines Doppelgelenkfahrzeugs mit der Bezeichnung N 6141, wobei die angetriebenen Achsen in den Gelenkverbindung untergebracht werden sollen – ähnlich der Lösung bei Multigelenkfahrzeugen im Straßenbahnbereich. Zum einen entfallen bei dieser Lösung die Radkästen in den eingehängten Fahrgastzellen, zum anderen halbiert sich der Anlenkwinkel des Räderpaares und vereinfacht die Realisation eines radnahen Antriebs an den elektro-hydraulisch angelenkten Achsen.

Basisversion einer solchen 24 m - Bauart stellt der diesel-elektrische Gelenk-Duobus für Lausanne dar (**Bild A.39**). Als Dieselmotor für die Fahrten ohne Fahrdraht dient bei dem N 6121 ein DaimlerChrysler-Aggregat OM 442 LA mit einer Leistung von 390 kW, der seine Leistung an einen Schaltbau-Doppelgenerator mit zusammen 300 kW abgibt. Die radnahen Elektromotoren an den Achsen 2 und 3 haben eine Leistung von jeweils 80 kW. Das Leergewicht ist mit 20,8 t (Flächengewicht:



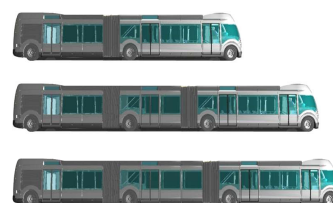
**Bild A.32:** Power-Pack mit Antriebsachse beim Phileas. Die Flüssiggas-Tanks sind im unteren Bereich, im oberen Bereich sind die Leistungselektronik und die Motor/Generator-Einheit angeordnet.



**Bild A.33:** Wagenfront mit der weit nach vorne gerückten servo-unterstützten Vorderachse.



**Bild A.34:** Geklebte Kunststoff/Aluminium-Schalbauweise, grundlackiert mit geklebten Fenstern. Das Bauteilgewicht beträgt rund 2 t. (FOKKER SPECIAL PRODUCTS)

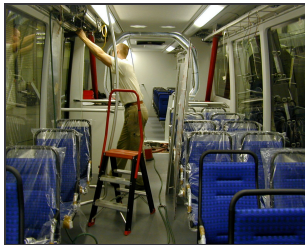


**Bild A.35:** Modularität beim Phileas, 18,00 m -, 24,00 m - und 25,50 m - Variante (APTS)





**Bild A.36:** Aufgrund der Mehrachslenkung lässt sich der Phileas nahezu spurtreu manövrieren



**Bild A.37:** Der Fahrgastraum ist bis auf die vier Radkästen frei von jeglichen Einbauten. Beachte die Stahlrohre, die Kräfte aus dem Dachgurt an die Radaufhängung weiterleiten.



**Bild A.38:** Wagenteil 3, letzte Sitzreihe. Die Sitze werden an den Seitenwänden aufgehängt. (APTS)



**Bild A.39:** Gelenk-Duobus N 6121 des Herstellers Neoplan für die Lausanner Verkehrsbetriebe. (WINCKELHOCK)

454 kg/m<sup>2</sup>) wie bei dem Civis recht hoch. Die Antriebseinheiten in den Radkästen (Einzelbereifung mit Planetengetriebe, Scheibenbremse, Synchronmotor und Achsaufhängung) sind rund 20 mm schmaler als ein normaler Fahrgastdoppelsitz.

Ernsthafte Bestrebungen, die Weiterentwicklung zu einem mehrgliedrigen Fahrzeug zu forcieren, gibt es allerdings nicht: Zwar hat Lausanne die Einfachgelenk-Version mit befriedigender Verfügbarkeit im Betrieb, dennoch fehlt zuweilen das rechte Interesse an einem Multigelenkfahrzeug. Darüber hinaus bestehen bei der von Neoplan projektierten Gelenkverbindung patentrechtliche Unstimmigkeiten mit Lohr Industrie. Die gebündelten Omnibusaktivitäten mit MAN über eine Holdinggesellschaft könnten durch die stärkere Konzentration auf das originäre Reisebusgeschäft von Neoplan ebenfalls Auswirkungen auf die Weiterentwicklung einer Busbahn haben.

Diesel-elektrische On-Board Stromerzeugung, gelenkte, radnah angetriebene Einzelräder oder Radnabenmotortechnik sowie eine intelligente Knickschutzregelung, Leichtbauweise, nach Möglichkeit auch eine automatische Querführung – diese kostenintensiven Neuentwicklungen und die Abkehr von standardisierten Bauteilen verursachen Beschaffungskosten, die sich in ihrer Größenordnung nicht wesentlich von der Schienenfahrzeugtechnik unterscheiden. Angesetzt waren einmal 800.000 EUR für ein Doppelgelenkfahrzeug (so teuer ist beispielsweise bereits der Einfach-Gelenkduobus von Neoplan für Lausanne, noch etwas teurer ist der 18,5 m - Civis mit optischer Spurregelung), und nach Schätzungen der Hersteller liegt ein realistischer Verkaufspreis nunmehr bei über 1,2 Mio. EUR bei einer Kleinstserie; dies entspricht in etwa 80% der Kosten einer vergleichbaren Systemstraßenbahn (Combino, Citadis etc.).

Außerdem sind die Instandhaltungskosten eines solchen Fahrzeugs nicht einschätzbar und müssten über gesonderte Verträge abgesichert werden. Hier sind Entwicklungspartnerschaften zwischen Hersteller und Verkehrsbetrieb, sowie eine direkte Ersatzteillogistik anzustreben. Auch mit der Instandhaltung elektrischer Fahrtriebe betritt im Regelfall der Betreiber zunächst Neuland. Ergänzende Schutzmassnahmen und Schulungen für den Hochspannungsbereich sind zur Erfüllung der bestehenden Vorschriften notwendig. Auch werden hochqualifizierte Elektronikspezialisten benötigt.

Dies alles mag erklären, wieso bei EvoBus, Irisbus und Neoplan die Prototypentwicklung eines Doppelgelenkbusses vorerst zurückgestellt worden ist und lediglich die Berkhof-Jonckheere-Gruppe, mit einem festen Auftrag über 11 Einfach-Gelenkbusse und einem Doppelgelenkbus für das Phileas-Projekt in Eindhoven im Rücken, zwei doppelgelenkige Prototypen vorgestellt hat.

## A.4 Elektrischer Bahnbetrieb

### A.4.1 Straßenbahn auf Gummireifen mit Oberleitung

Bei der Straßenbahn auf Gummireifen ist das Antriebskonzept in Anlehnung an herkömmliche Straßenbahnen zu sehen. Bei Straßenbahnen wird auf einen elektrischen Antrieb mit externer Energieversorgung zurückgegriffen, und auch bei Lohr Industrie, dem einzigen Anbieter einer Straßenbahn auf Gummireifen, steht bei der Bauart Translohr der elektrische Antrieb mittels Fahrdrähtanlage klar im Vordergrund. Dies zeigen auch die aktuellen Antriebskonzepte für die Städte Clermont-Ferrand, Padua und L'Aquila. Der Translohr benötigt für die externe Stromversorgung trotz der Verwendung von Gummireifen nur einen einpoligen Fahrdrabt und einen Pantographen, da die Stromrückleitung via Schleifer über die Monoschiene erfolgt (**Bild A.40**).



Bild A.40: Einpoliger Fahrdrabt beim Probetrieb des Translohr auf der TVM, Paris. Es können herkömmliche Pantographen verwendet werden.

Das Fahrzeugkonzept des Translohr basiert auf einer modularen Leichtbauweise, die Fahrzeugeinheiten von 18 - 39 m als niederflurige Multielenkfahrzeuge einschließt (**Bild A.41 u. A.42**). Durch den Leichtbau und die günstige Haftreibung Gummireifen/Fahrbahn genügen auch bei der 39 m langen, fünfteiligen Zweirichtungsausführung zwei angetriebene Achsen, welche sich weit an das Bug bzw. Heck außerhalb der Fahrgastzelle unter den jeweiligen Fahrerarbeitsplätzen verschoben befinden. Damit besteht ausreichender Bauraum für die Fahrmotoren (**Bild A.43**). Es kann eine für den Zweirichtungsbetrieb geeignete, angetriebene herkömmliche Nutzfahrzeug-Lenkachse zum Einsatz kommen. In Abweichung zu dem Prototypen kommen aus Gründen der Geräuschminderung inzwischen zwei konventionelle Asynchronmotoren des Herstellers Alstom Sesto mit jeweils 220 kW, vormals zwei Synchronmotoren mit geringerer Masse, zum Einsatz. Der Fahrgastraum ist vollständig niederflurig ohne jegliche Podeste oder sonstige Einbauten. Die Laufachsen sind vorteilhaft in der Gelenkverbindung angeordnet (**Bild A.44**).



Bild A.41: Niedrige Einstiegsverhältnisse: 250 mm. (LOHR INDUSTRIE)

Hinsichtlich der Beförderungskapazität ist das vierteilige Zweirichtungsfahrzeug mit den bisher betrachteten Fahrzeugtypen vergleichbar. Der so genannte Translohr STE 4 ist 32 m lang, nur 2,20 m breit und wiegt leer 25 t (Flächengewicht, ohne Traktionsbatterie: 355 kg/m<sup>2</sup>). Die Beförderungskapazität des STE 4 wird je nach Sitzplatzanteil von dem Hersteller



Bild A.42: Aufgehängte Sitze, große Fensteröffnungen, niederflurige Fahrgastzelle. (LOHR INDUSTRIE)



Bild A.43: Hochflurige Fahrerkabine, die bei dem Prototypen nur über eine umklappbare Sitzkonstruktion zu erreichen ist (Bildmitte). Der Bauraum unter der Fahrerkabine wird zur Unterbringung der Antriebstechnik genutzt.

mit über 150 Personen ( $4 \text{ Pers./m}^2$ ) angegeben. Da der Translohr auch im Zugverband unterwegs sein kann, hängt die Leistungsfähigkeit letztendlich von der zur Verfügung stehenden Bahnsteiglänge ab.

#### A.4.2 Gegenüberstellung von Systembahnen und pneumobereifte Straßenbahn

Eine leichte Bauweise ist Voraussetzung für einen geringen Energieverbrauch und geringe Verschleißerscheinungen. Zur Beurteilung der elektrischen Straßenbahn auf Gummireifen zunächst der Blick auf die Entwicklung bei Niederflur-Straßenbahnen der herkömmlichen Rad/Schiene-Technik.



Bild A.44: Aluminiumaufbau. Die Laufachsen sind in den Gelenkverbindungen untergebracht. (LOHR INDUSTRIE)

Bei den 100%-Niederflur-Straßenbahnen haben sich bei den Systembahnen die Multigelenk-Fahrzeuge mit Drehstromantrieb durchgesetzt. Aufgrund der sehr eingeschränkten Einbauverhältnisse durch die Niederflurtechnik konnte sich der kompakte Drehstrom-Asynchronmotor seit Anfang der neunziger Jahre gegenüber dem Gleichstrommotor durchsetzen. Der Drehstrom-Asynchronmotor ist gekennzeichnet durch einen einfachen wartungsarmen Aufbau. Außer Rollenlagern gibt es keine rotierenden oder verschleißende Teile. Ähnlich wie der Dieselmotor bei Bussen ist der Drehstrom-Asynchronmotor bei niederflurigen Straßenbahnen der Standard-Fahrmotor.

Bekannte Systembahnen mit modularen Längen- und Breitenvariationen und standardisierten Hauptkomponenten sind Citadis (Alstom Transport), Cityway (Alstom Ferroviaria), Combino/ULF (Siemens TS), Incenro/Cityrunner/Variobahn/LF 2000 (Bombardier Transportation) und Sirio (AnsaldoBreda). Schwerpunkt der Entwicklung ist eine große Längskapazität mit möglichst wenigen Rädern, allerdings unter Beachtung der höchstzulässigen Achslast des jeweiligen Streckennetzes, denn Fahrgestelle sind teuer, viel teurer als Gelenke – und außerdem mit deutlich über 4 t recht schwergewichtig. Bei einer Fahrzeuglänge von 30 m werden meistens drei zweiachsige Fahrwerks-Module mit Gelenkverbindungen verwendet, wobei eingehängte, radlose Wagenbrücken sich auf die Fahrwerks-Module abstützen. Das Kurvenverhalten in engen Kurven entspricht damit allerdings eher dem Verhalten von alten Zweiachsern als demjenigen moderner Drehgestellfahrzeuge. Multigelenkfahrzeuge reagieren insgesamt empfindlicher auf die Gleisqualität als Drehgestellfahrzeuge. Dennoch sind solche Wagen für den Fahrgastbetrieb sehr gut geeignet, da fast keine Podeste notwendig sind und infolge der drehfesten Fahrwerke schmalere Radkästen möglich sind.

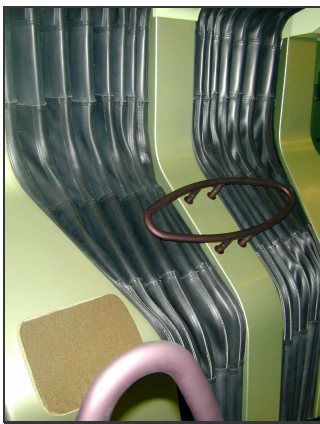


Bild A.45: Gelenkverbindung mit dem Laufachsenportal im verkleideten Zustand.



Bei einer Straßenbahn auf Gummireifen steht nun ebenfalls die Konzeption als Multi-Gelenkfahrzeug mit folgenden Zielen im Vordergrund: keine störenden Podeste oder Radkästen in der Fahrgastzelle, Niederflrigkeit, Längenvariation und Modularität (**Bild A.46**). Es können allerdings neue Maßstäbe bei der Fahrzeugkonzeption gesetzt werden, da in den Gelenkverbindungen gummibereifte Portal-Laufachsen untergebracht werden können und die „Spurweite“ deutlich größer ist als bei Straßenbahnen.

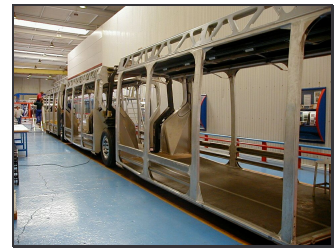


Bild A.46: Modulare Aufbau, Beispiel Translohr (LOHR INDUSTRIE)

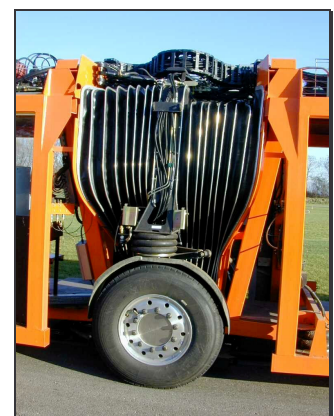
Bei Rad/Schiene-Systemen wurde ein ähnliches Konstruktionsprinzip mit seitlich in den Wagengelenken vertikal untergebrachter Radführungstechnik bisher nur mit der Straßenbahnbauart ULF (Ultra Low Floor, Bodenhöhe: 205 mm) bei den Wiener Verkehrsbetrieben (WVB) verwirklicht – allerdings sind die beiden Räder eines Portals jeweils nach dem Prinzip der sogenannten Symmetralen-Steuerung mit dem Wagen gekoppelt und stellen sich bei der Fahrt durch eine Kurve selbstständig radparallel zum Kurvenradius ein (**Bild A.47**). Im Idealfall fällt dadurch das störende Kurvenquietschen weg, der Verschleiß von Rädern und Schiene wird minimiert und der Fahrwiderstand gesenkt. Die Räder der Bug- und Heckmodule sind des Weiteren über eine sogenannte Transversal-Steuerung mit dem nächsten Portalgelenk verbunden. Dadurch stellen sich diese an sich ungesteuerten Räder ebenfalls radparallel zum Kurvenradius ein. Trotzdem bleibt das Problem der Anlenkung der beiden vordersten Räder bestehen, da die Einfahrt in einen Gleisbogen von dem ersten Radsatz nicht erkannt werden kann.



Bild A.47: Radführungs- und Antriebstechnik mit Einzelrädern, vertikaler Aufbau am Beispiel ULF (SGP VERKEHRSTECHNIK)

Durch das höhere Gewicht bei Verwendung von Bahntechnikkomponenten sind bei dem ULF die angelenkten Räder zudem jeweils auch mit einer eigenen Antriebseinheit ausgestattet. Und da das Fahrzeug über keine starren Achsen verfügt und der Sinus-Lauf von Starrachsen aus Abnutzungsgründen elektrisch nachgebildet werden sollte, sind die Antriebseinheiten einer Wagenseite zu einem Gruppenantriebssystem zusammengefasst. Die Rad/Schiene-Technik gelangt bei dieser Anwendung von Einzelfahrwerken und Niederstflurigkeit an den Grenzbereich der technischen Umsetzungsfähigkeit.

Bei der gummibereiften Leitschienebahn auf Basis moderner Nutzfahrzeugtechnik besteht dagegen eine klare Funktionstrennung: Die Gelenkverbindungen der einzelnen Wagenkastenzellen nehmen die Laufachsen auf, die jeweils in einem Portal integriert sind (**Bild A.48**). Die Führungsrollen mit einem Durchmesser von 210 mm dienen ausschließlich dem Abtasten der Monoschiene, um die Achsen anzulenken. Die beim üblichen Schienenbahnrad vereinten Aufgaben von Fahrzeugstützung und -führung sind voneinander getrennt. Die Führungsrollen umfassen beidseitig das Schienenprofil und sind schräggestellt. Die Schrägstellung er-



A.48: Laufachsen im Portal, Beispiel Translohr (Versuchsträger)

möglicht hierbei einen vergleichsweise großen Umfang der Führungsrollen und damit eine reduzierte Umdrehungszahl, ohne dabei einer niederflurigen Ausführung des Wagenbodens entgegenzustehen.

Der Translohr erscheint nach den bisherigen Erprobungsergebnissen verschleißarm, energiesparsam, geräuscharm – und damit ein ernsthafter Konkurrent gegenüber der herkömmlichen Straßenbahn bei neuen, grundsätzlichen Systementscheidungen.

### A.4.3 Alternative Energiequellen

Die für eine Bahn geringe Fahrzeugmasse bietet gerade bei dem Translohr Spielraum für Überlegungen, auf einen Fahrdraht zu verzichten und alternative Energiequellen in Erwägung zu ziehen. Hierbei stehen Traktionsbatterien im Vordergrund. Grundsätzlich ist bei der Verwendung einer Batterie als Bremsenergiespeicher und Anfahrhilfe immer ein Kompromiß zwischen Mehrgewicht und der Ladezyklenzahl zu finden. Alternativ könnte auch der Blick auf Leistungsspeichersysteme (Schwungradspeicher, Superkondensator) gerichtet werden, die sich am Anfang der praktischen Erprobung befinden.

In Clermont-Ferrand und Padua waren als Hilfsantrieb herkömmliche Bleisäure-Batterien mit einem Eigengewicht von 1000 kg, untergebracht in einem Dachcontainer, eingeplant, um dem politischen Wunsch nach einem lokal emissionsfreien Fahrbetrieb bei gleichzeitigem Verzicht auf einen Fahrdraht zu entsprechen. Durch den Einsatz der Traktionsbatterie auch auf dem Betriebshof und dem Verzicht auf eine – in diesem Bereich üblicherweise auch recht aufwändigen – Fahrdrahtanlage, hätte eine freiere, mit den Stadtbussen gemeinsame Nutzung des Betriebshofs in Aussicht gestellt werden. Man hat aber bei Lohr Industrie entschieden, bei den ersten Anwendungen wo eben möglich zunächst auf konventionelle Technik zu setzen und hat deshalb in Absprache mit den Aufgabenträgern auf fahrdrahtlose Abschnitte verzichtet.



## A.5 Technische Einzelfragen

### A.5.1 Energiemanagement eines Hybridantriebs

Der diesel-elektrische Antrieb mit Radnabenmotortechnik soll einen hohen Fahrkomfort sowie erhebliche Kraftstoffeinsparungen ermöglichen, da der Dieselmotor des Generators stets im günstigsten Drehzahlbereich betrieben werden kann (EvoBus 1996, S. 23). Diese hohen Erwartungen an eine diesel-elektrische Busbahn konnten bis jetzt nicht annähernd erfüllt werden. Insbesondere die mehrfache Energieumwandlung und das zusätzliche Gewicht unerprobter Wagenkasten-Bauweisen führten zu einer Erhöhung statt einer Senkung des Kraftstoffverbrauchs um durchschnittlich 10%.

Die Erfahrungen der Stuttgarter Straßenbahnen (SSB) mit Fahrzeugen vom Typ Evobus 0 405 GNDE und Fahrzeugen vom Typ Neoplan N 4114 DE zeigten zudem, dass das Management der Antriebseinheiten infolge mangelnder Erfahrung bei der Einstellung der optimalen Betriebskennlinie eines diesel-elektrischen Generators noch verbesserungsbedürftig ist. Auch nach den umfassenden THERMIE-Programmen steht der technische Durchbruch des diesel-elektrischen Antriebs noch aus. Der diesel-elektrische Antrieb ist als individuell ausgelegte Ausführung nun einmal komplizierter als die millionenfach bewährte hydromechanische Antriebstechnik (HONDIUS 2001/a, S. 10).

Reine diesel-elektrische Systeme werden deshalb nicht mehr weiterverfolgt. Gleiches gilt auch für Batterie-Hybrid-Konzepte als Hauptantrieb. Auch hier wird an eine weitere Verfolgung nicht gedacht, da sich dieses Konzept bei einer Betrachtung unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten aufgrund der bisher gemachten Erfahrungen in der überwiegenden Zahl der Einzelfälle nicht rechtfertigen lässt. Aus diesem Grund sind mittlerweile die Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet batteriebetriebener Fahrzeugkonzepte beispielsweise bei DaimlerChrysler oder MAN größtenteils eingestellt worden und werden allenfalls noch bei Nischenanwendungen Berücksichtigung finden.

Kurzzeitspeicher wie der Superkondensator und der Schwungradspeicher sind Bremsspeichersysteme, die zur Zeit noch nicht ausreichend untersucht sind. Diese werden daher künftig auch in Kombination mit einem diesel-elektrischen Fahrtrieb weiter beobachtet und erforscht (Mock 1999, S. 14).

Ausschlaggebend für die forcierte Forschung auf dem Gebiet der Bremsspeichersysteme ist die Erkenntnis, dass Energieeinsparungen bei dem diesel-elektrischen Antrieb zwar nicht ausgeschlossen sind, aber nur möglich sind, wenn die Bremsleistung rekuperiert werden kann – was aber wiederum ein Zwischenspeichermedium an Bord des Fahrzeugs erfordert. Bei einem kombinierten Antrieb mit Zwischenspeicher, dem sogenannten Hybridantrieb, wird im Rahmen eines Energiemanagements für die Betriebszustände eines Fahrtenverlaufs (Beschleunigung, Beharrung, Bremsen, abgasfreier Betrieb) ein Energiefluss angestrebt, so dass konsequenterweise der Hybridantrieb mit kleineren Antriebseinheiten und demzufolge mit einem geringeren Energieverbrauch auskommen sollte.

Bei einer Strategie des Energieflusses muss vorrangig ein Lösungsansatz zur Reduzierung der Masse des verwendeten Speichermediums erarbeitet werden. Beispielsweise kommt es durch den Einbau einer diesel-elektrischen Antriebseinheit einschließlich einer herkömmlichen Traktionsbatterie zu einem deutlichen Mehrgewicht, welches die Bestrebungen, Energie zu sparen, konterkariert.

Neben dem zusätzlichen Gewicht ist bei einer Batterie die begrenzte Reichweite (Kapazität), bei entsprechender Reichweite der Verlust an Fahrgastraum sowie die eingeschränkte Ladezyklenzahl nachteilig. Hier werden alternative Bremsspeichersysteme wie Superkondensatoren und Schwungrad weiter ins Blickfeld rücken, da das Mehrgewicht nur schätzungsweise 500 kg ausmacht und ebenso einen eingeschränkten emissionsfreien Betrieb bzw. eine zusätzliche Energieeinspeisung bei Spitzenbelastungen realisierbar erscheinen lässt.

Insbesondere die Superkondensatoren rücken immer stärker ins Blickfeld: Sie sind in der Lage, bei geringem Eigengewicht hohe Leistungen bei Bremsungen aufzunehmen und beim Beschleunigen wieder abzugeben. Zum Beispiel geht ein Hybrid-Solobus mit Epcos-Superkondensatoren bei MAN voraussichtlich im Jahr 2002 in Berlin in Erprobung. Das verwendete Fahrzeug ist ein MAN NL 263, Brennstoffzellenhauptantrieb, welches im fortgeschrittenen Brennstoffzellen-Erprobungsbetrieb ergänzend mit einem 640 V-Supercap, 400 A und einem Energieinhalt von 0,4 kWh, nachgerüstet wird. Energieeinsparungen von 10 - 15% sind im realen verkehrsbeeinflussten Fahrzyklus – also

ohne eigenen bevorrechtigten Fahrweg – nach Simulationsrechnungen möglich. Bei einem optimierten Geschwindigkeitsprofil sollen diese Werte sogar deutlich höher liegen (SCHALLER 2000, S. 6).

Bei dem Phileas-Projekt für den Zweckverband Eindhoven sollen dennoch zunächst ein konventionelles Schwungrad und eine Batterie zum Einsatz kommen – man ist bei APTS der Meinung, durch die Hybridfahrweise und dank modularer Fokker-Kunststoffbauweise (die es allerdings erschwert, die tatsächliche Gewichtserhöhung des Hybridantriebs offenzulegen) eine Brennstoffeinsparung von 25% im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen mit diesel-hydrmechanischem Antrieb erzielen zu können. Rechnet man bei dieser Zielgröße den Anteil der Leichtbauweise heraus und berücksichtigt die Gewichtserhöhung gegenüber einem Einzelmotorantrieb, so wird der Hybridfahrweise allein eine wesentlich geringere Wirkung zuzuschreiben.

### **A.5.2 Ultra-kompaktes Antriebssystem**

Das Institut für Maschinen, Antriebe und elektronische Gerätetechnik (IMG) in Nordhausen entwickelt seit 1995 ein „ultra-kompakt“ gebautes Antriebssystem (ukA) für diesel-elektrisch angetriebene Fahrzeuge. Während konventionelle, bisher beschriebene Stromerzeugungsaggregate mit konstanter Drehzahl möglichst im Bereich einer optimierten Betriebskennlinie betrieben werden, ist das ukA drehzahlvariabel ausgelegt. Damit passt sich das ukA wie ein herkömmlicher Verbrennungsmotor den wechselnden Leistungsanforderungen an. Nachteilig ist hierbei, dass ein Generator bei wechselnden Drehzahlen auch eine veränderliche Spannung unterschiedlicher Frequenz liefert. Durch geeignete Maßnahmen bei der Leistungselektronik unter Nutzung der Induktivität des Generators muss sichergestellt werden, dass nach der Gleichrichtung die Generatorspannung drehzahl- und lastunabhängig stets konstant 600 V (wahlweise 750 V) Gleichstrom beträgt.

Durch die Fähigkeit, lastabhängig eine hohe Drehzahl zu fahren, kann ein Pkw-Großserienmotor dem Generator vorgeschaltet werden. Aufgrund der höheren Nenn- und Höchstdrehzahl hat dieser geringere Abmessungen und eine geringere Masse im Vergleich zu Nutzfahrzeugmotoren. Die neu entwickelten Bauteile Generator und Leistungselektronik tragen durch ihr geringes Leistungsgewicht und ihre Baugröße zur Erfüllung der Zielsetzung bei. Mit modernen und vergleichsweise kostengünstigen Diesel-Serienaggregaten – beispielsweise 8-Zylinder-V-Motoren von BMW – werden Leistungen im Bereich von rund 180 kW erzielt.

Im Hinblick auf den Schwingungs- und Geräuschkomfort ist die BMW-Bauform mit 90°-V-Winkel eine geeignete Konfiguration. Die Antriebsaggregate weisen die für Pkw-Dieselmotoren übliche Lebensdauer von rund 5000 Betriebsstunden auf. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Einsatz von 1000 Stunden im diesel-elektrischen Betrieb ergibt sich somit eine Lebensdauer von fünf Jahren für den Dieselmotor. Nach dieser Zeit muss er generalüberholt oder kann gegen ein Austauschaggregat ausgetauscht werden. Es sind geeignete Tragrahmen vorzuhalten, damit das Aggregat leicht ausgetauscht werden kann. Nachteilig ist, dass sich eine ausreichende Leistungsbilanz für Großraumfahrzeuge nur durch eine Parallelschaltung von zwei Aggregaten realisieren lassen wird.

Die Straßenbahn auf Gummireifen bietet aufgrund des bei den spurgeführten Fahrzeugen vergleichsweise geringen Flächengewichts (rund 350 kg/m<sup>2</sup>) ein geeignetes Anwendungsbeispiel eines ultra-kompakten Antriebssystems: So wollten die französischen Entwickler bei Translohr bereits für den Testbetrieb auf der TVM Ende 2001 eine dachseitig angeordnete schnelldrehende 130 kW-Micro-Gasturbine (56.000 U/min) als Übergangslösung einsetzen, da ein fahrdrahtloser Bereich zu überbrücken war. Bei Translohr ist nun ein weiterführende Einsatz von parallel geschalteten Pkw-Serienmotoren bei einer vierteiligen Bauart in Zusammenarbeit mit dem IMG im Gespräch. Die Erprobungen werden derzeit vorbereitet.

Bei Straßenbahnen ist die Idee, die Oberleitung durch in Fahrzeugen integrierte Stromaggregate zu ersetzen, ebenfalls angedacht worden und soll in Nordhausen, dem Stammsitz der IMG, nach den befriedigenden Ergebnissen mit dem Straßenbahn-Versuchsträger Twino bei den Stadtwerken Nordhausen GmbH zum Einsatz kommen (KOCH, MÜLLER 2002, S. 26). Der Einsatz des dreiteiligen 20 m langen Combino duo erfolgt allerdings nicht innerstädtisch. Vielmehr sollen die rund 25 t schweren Fahrzeuge (550 kg/m<sup>2</sup>) ab 2004 auf einer nicht elektrifizierten Strecke der Harzer Schmalspurbahnen zwischen Nordhausen und Ilfeld eingesetzt werden, wo aufgrund sehr ausgewogener Neigungsverhältnisse und großer Haltestellenabständen die Ansprüche an das Beschleunigungsverhalten als gering einzustufen sind.

### A.5.3 Brennstoffzellenantrieb

Ersetzt man bei einem diesel-elektrisch angetriebenen Fahrzeug den Verbrennungsmotor als Energiequelle durch die Brennstoffzelle, erhält man einen völlig abgasfreien und geräuscharmen Stadtlinienbus. In einer Brennstoffzelle wird durch „kalte Verbrennung“ von Wasserstoff und Sauerstoff Wasser, Wärme sowie elektrische Energie erzeugt.

Der wesentliche Vorteil von PEM-Brennstoffzellen (Proton Exchange Membrane) ist der emissionsfreie Betrieb mit hohen Wirkungsgraden, festen Elektrolyten und schnellem Kaltstartverhalten. Im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren ist der Wirkungsgrad unabhängig vom Carnot-Prozess und erreicht in der Einzelzelle Werte von über 70%. (PILZ 1999, S. 390). Der Wasserstoff wird hochkomprimiert in Leichtbaudruckbehältern mitgeführt, während der Sauerstoff für die Brennstoffzelle der komprimierten Umgebungsluft entnommen wird.

Jeweils drei Stadtlinienbusse werden derzeit mit Brennstoffzellen-Antrieben von dbb (Daimler Benz Ballard) in Chicago und Vancouver im Rahmen eines Forschungsprojekts erprobt, im deutschen Luftkurort Oberstdorf bedient ein Fahrzeug des Herstellers Neoplan (N 6008 E mit Nickel-Metall-Batteriesatz, PEM-Brennstoffzellen-Einheit mit 55 kW Gesamtleistung von DeNora, komprimierter Wasserstoff) die autofreie Stadtkernzone, und DaimlerChrysler testete den Brennstoffzellen-Prototyp Nebus in Hamburg und Oslo im Liniendienst.

Darüber hinaus hat DaimlerChrysler 30 Citaro-Niederflurbusse mit Brennstoffzelle in einer ersten Kleinserie an neun Verkehrsbetriebe – Amsterdam, Barcelona, Hamburg, London, Luxemburg, Porto, Stockholm, Stuttgart und Reykjavik – zu einem politischen Preis von 1,25 Mio. EUR verkauft; ein baugleicher Bus mit herkömmlichem Dieselmotor als Antrieb kostet etwa ab 0,15 Mio. EUR. Im Preis für den Brennstoffzellen-Bus von Mercedes-Benz Omnibus ist die komplette technische Betreuung und Wartung des Fahrzeugs vor Ort über zwei Jahre hinweg inbegriffen.

Die 12 m langen Niederflur-Solowagen werden im Rahmen des europäischen Brennstoffzellenbus-Projekt (European Fuel Cell Bus Projekt) mit einer Brennstoffzellen-Einheit von mehr als 200 kW Ausgangsleistung ausgestattet. Die von der DaimlerChrysler-Tochter Xcellsis entwickelte und gefertigte Brennstoffzellen-Einheit sowie die Druckgasflaschen mit dem auf 35 MPa komprimierten Wasserstoff sind auf dem Dach der Citaro-Busse untergebracht. Der Elektromotor mit mechanischem Antriebsstrang befindet sich im Heckbereich. Nach Aussage der Geschäftsfüh-



nung von DaimlerChrysler werden die beteiligten Verkehrsbetriebe eine weltweite Vorreiterrolle einnehmen und haben die Chance, frühzeitig Erfahrungen mit der innovativen Technik im Fahrzeug und in der Infrastruktur zu sammeln (N.N. 2001, S. 21).

Weitere Brennstoffzellenbusse verkehren im Probetrieb z. B. in Berlin, Kopenhagen und Lissabon (abwechselnder Test mit einem MAN NL 263 mit ELFA-Antrieb von Siemens (Electrical Low-Floor Axle), PEM-Brennstoffzelle von Air Liquide/DeNora, Flüssigwasserstoff) sowie in Nürnberg (MAN NL 263, Brennstoffzelle von Siemens Energieerzeugung (KWU), komprimierter Wasserstoff, Epcos-Supercap als ergänzender Bremsenergiespeicher).

Irisbus fährt drei Programme mit jeweils einem Fahrzeug und dem Einsatz von komprimiertem Wasserstoff: In Paris (RATP, Cristalis mit Air Liquide/Nuvera Brennstoffzelle), Madrid (EMT, Empresa Municipal de Transporte) und Turin (ATM, Azienda Torinese Mobilità) kommen diese Brennstoffzellenbusse zum Einsatz. Auch Scania hat mit Air Liquide und Nuvera einen PEM-Prototypen vorgestellt.

Es darf bei allem Fortschrittdenken allerdings zweierlei nicht außer Acht gelassen werden:

- Zum einen war in der Vergangenheit die Reduzierung der limitierten Emissionen PM, NO<sub>x</sub>, HC und CO eine wesentliche Motivation für die Erprobung und Einführung der Brennstoffzellentechnik. Weiterentwickelte Verbrennungsmotoren mit Abgasnachbehandlungssystemen haben aber hier zu einer deutlichen Reduzierung der Emissionslast geführt. Ein Dieselmotor, welcher „Euro 4-fest“ ist, kann als umweltökologisch sauber angesehen werden. Wasserstoff bietet allerdings nach wie vor einen Beitrag zur Reduzierung der klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emission – egal, ob in der Brennstoffzelle oder im Verbrennungsmotor eingesetzt (SCHALLER 2000, S. 6).
- Zum anderen liegt die Vorreiterrolle des ÖPNV unter den Straßenfahrzeugen bei der Brennstoffzellentechnik u. a. darin begründet, dass die dazu erforderliche Infrastruktur für die Energieversorgung im geschlossenen und zugleich räumlich begrenzten System eines Verkehrsbetriebs am unproblematischsten bereitgestellt und zur Sammlung weiterer Erfahrungen in der Anwendung neuer Technologien genutzt werden kann (VÖLKENING 2000, S. 7). Hierdurch wird aber der Blick auf den eigentlichen Kostendruck, welcher auf den ÖPNV-Unternehmen lastet, und damit den Zwang nach einem ausgereiften und wirtschaftlichen Antriebssystem auslöst, verstellt, zumal enorme ÖPNV-Mittel aufgebraucht werden, ohne dass eine kundenorientierte

Verbesserung des Leistungsangebots erreicht wird. Ein Antriebssystem, welches nach derzeitigen Kostenschätzungen in der Leistungsbereitstellung pro kW näherungsweise nahezu 200 Mal teurer ist als der Dieselmotor, ist im ÖV-Alltagsbetrieb nicht konkurrenzfähig.

Ein forcierter Übergang auf diese zur Zeit mit Abstand teuerste Antriebstechnologie im Linienverkehr ist darüber hinaus nur sinnvoll, wenn zwecks Erzeugung des unbegrenzt vorhandenen Wasserstoffs zur weiteren Verringerung der globalen Emissionen sowie Schonung der Ressourcen auf regenerative Primärenergie zurückgegriffen werden kann. Ein Beispiel: Selbstverständlich fährt ein Brennstoffzellenfahrzeug abgasfrei – wird der dafür nötige Wasserstoff jedoch über Elektrolyse aus deutschem Netzstrom gewonnen, ist die klimarelevante CO<sub>2</sub>-Belastung dreifach höher als beim Diesel-Betrieb (SCHALLER 2000, S. 4).

Die Entwicklung von Antrieben für ÖPNV-Busse mit Brennstoffzellentechnologie ist daher insbesondere in Verbindung mit einer verstärkten Weiterentwicklung und Förderung regenerativer Primärenergie innerhalb eines ganzheitlichen Ansatzes sinnvoll (MÜLLER-HELLMANN et al 1999, S. 37) und bedarf zunächst enormer staatlicher oder industrieller Finanzierungshilfen, auch um die Probleme der Wasserstofferzeugung und -bereitstellung lösen zu können. Die *Erprobung* der Wasserstoffbusse mit Brennstoffzellenantrieb im ÖPNV sichert aber immerhin bei Fahrgästen und Kunden – und vor allem bei der Politik – die Akzeptanz bei der Weichenstellung in Richtung einer langfristig orientierten Antriebsart und übernimmt eine wichtige Rolle bei der Vorbereitung der Markteinführung.

Losgelöst von der Antriebswahl ist auch die Frage der Energiebereitstellung zu klären. Der Wasserstoff wird in aller Regel aus Kohlenwasserstoffen hergestellt, was auch beibehalten werden könnte, vorausgesetzt es gelingt, das mitproduzierte Kohlendioxid schadlos für die Atmosphäre endzulagern, beispielsweise in ausgekohlten Öl- oder Erdgaslagerstätten. Hiervon ist aber die Entwicklung weit entfernt. Die andere Methode ist die Elektrolyse, die auf Wasser-, Wind- oder solar-thermische Kraftwerke zurückgreift, um die Bedingung der energetischen Nachhaltigkeit zu erfüllen (WINTER 2000, S. 11).

Es besteht Einhelligkeit darüber, dass die Brennstoffzelle auf lange Sicht gesehen – ohne die Verwendung von fossilen Energieressourcen bei der Wasserstofferzeugung – eine tragende Rolle spielen wird; ebenso einvernehmlich kann aber auch festgestellt werden, dass die Brennstoffzelle auch mittelfristig für einen Flottenbetrieb sowohl in wirtschaftlicher

Hinsicht als auch im Hinblick auf eine hohe Betriebssicherheit für die Dauer mindestens einer weiteren Fahrzeuggeneration noch nicht zur Verfügung steht.

## A.6 Zusammenfassung

Die Frage nach einer emissionsarmen Antriebstechnik ist zunächst einmal verkehrsmittelunabhängig. In dem Anwendungsbereich zwischen Bus und Bahn spielen aber auch die Fahrzeugkonzepte eine entscheidende Rolle – jede gewählte Antriebsart und die damit umsetzbare Achsfolge hat auch Auswirkungen auf die Fahrgastzelle und – insbesondere bei einem dreiteiligen Fahrzeug – auch auf die Traktionseigenschaften, Fahrstabilität und Steigfähigkeit. Bei der Lösung der Zielkonflikte zeigen die Omnibushersteller hinsichtlich der Fahrzeug- und Antriebskonzepte herausragende ingenieurtechnische Leistungen, insbesondere bei der Entwicklung der Busbahn und der Brennstoffzellentechnik. Es ist aber zu bezweifeln, ob diese Entwicklungen die Basis eines hochwertigen Transport- bzw. Nahverkehrssystems zwischen Bus und Bahn darstellen.

Zunächst bleibt nach der Erläuterung der Fahrzeug- und Antriebskonzepte anzumerken, dass sich ein reduzierter Energieverbrauch beim diesel-elektrischen Fahrtrieb und daraus resultierend minimierte Emissionen bei den bisherigen Betriebsprobeeinsätzen noch nicht eingestellt haben. Im Linienbetrieb zeichnet sich derzeit nach wie vor ein konventioneller Dieselantrieb durch einen geringeren Energieverbrauch aus – und dies bei deutlich geringeren Anschaffungs- und Betriebskosten und höherer Verfügbarkeit. Insbesondere die optimale Anpassung der elektrischen Steuerung des Antriebs an die Dieselmotorcharakteristik zur Optimierung des Verbrauchs haben nur ganz wenige Hersteller einigermaßen im Griff.

Es sollte deshalb von vornherein so leicht wie eben möglich gebaut werden und nach Möglichkeit auf einen diesel-hydrmechanischen Antrieb zurückgegriffen werden. Denn wer schwer baut, ist auf mindestens zwei angetriebene Achsen angewiesen – die bei niederflurigen Fahrzeugen in der Tat auch nur mit einem diesel-elektrischen Antrieb und konsequenterweise mit Energiemanagement ermöglicht werden können. Ein sich selbst ungünstig beeinflussender Kreislauf, denn die benötigten Zwischenspeicher des Energiemanagements bedeuten erneutes Mehrgewicht, ebenso Leistungselektronik und Einzelradantrieb.

Die derzeitigen Tendenzen weisen dem diesel-elektrischen Antrieb denn auch den Stellenwert einer Übergangstechnologie auf dem Weg zur Brennstofftechnologie zu. Neben offenen Fragen bei der Erforschung aktueller Bremsspeichersysteme müssen aber auch noch Ergebnisse auf dem Gebiet eines ultra-kompakten Antriebs abgewartet werden.

Leider zeigen die Untersuchungen auch, dass allgemeine Anforderungen an ein hochwertiges Nahverkehrssystem zwischen Bus und Bahn durch die Konzentration auf teilweise technisch äußerst anspruchsvollen Antriebs- und Fahrzeugkonzepte in den Hintergrund getreten sind:

- Was ist für den *Fahrgast* von Bedeutung? Eine hohe Verfügbarkeit, Reisezeitverkürzung und Pünktlichkeit als wesentliche Anreize zu einer häufigeren Benutzung der öffentlichen Linienverkehrsmittel werden durch innovative Fahrzeugtechnik nicht gewährleistet.
- Was will der *Betreiber*? Ein wirtschaftliches, betriebssicheres Verkehrsmittel – zu bestätigen ist eine hohe technische Verfügbarkeit derzeit aber nur bei einem hydromechanischen Antriebsstrang gekoppelt mit einem Verbrennungsmotor sowie bei einem konventionellen elektrischen Fahrentrieb mit externer Stromversorgung.
- Und der *politische Entscheidungsträger oder Aufsichtsrat des Unternehmens* reagiert sicherlich auf eine gelungene Außenwirkung; technische Anstrengungen – ohne den Nachweis einer Kosten-, Verbrauchs- oder Emissionsreduzierung – werden dieser Gruppe aber verborgen bleiben.

Natürlich muss berücksichtigt werden, dass Verkehrsdienstleistungen des öffentlichen Personenverkehrs beinahe ausschließlich in sensiblen Innenstadtbereichen erbracht werden. Insbesondere eine umfeldverträgliche Antriebstechnologie ist nicht zuletzt aus diesem Grunde unabdingbar – zu integrieren in eine Vielzahl von Maßnahmen zur klimarelevanten Emissionsreduzierung und Ressourcenschonung auch außerhalb des öffentlichen Nahverkehrs. Die technische Pionierarbeit auf der Suche nach einer geeigneten Antriebstechnologie mit betrieblicher Reife bei gleichzeitiger wirtschaftlicher Effizienz findet hier durchaus ihre Berechtigung. Es darf aber dennoch nicht aus den Augen verloren werden, dass der ÖPNV durch eine *bessere Organisation* einen beachtlichen Teil der Verkehrsdienstleistungen umwelt- und speziell ressourcenschonender als der motorisierte Individualverkehr produziert. Hier liegt eine der herausragenden Stärken des öffentlichen Nahverkehrs. Umweltschutz ist damit nicht in erster Linie eine Frage einer exklusiven, umweltschonenden Antriebstechnologie, sondern bedeutet eine Verlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr und damit *mehr* öffentlichen Verkehr:



- Hierfür steht im spurgeführten Stadtverkehr – unabhängig ob Rad/Schiene-Technik oder geführt an einer Monoschiene – der elektrische Antrieb mittels externer Stromversorgung über eine Oberleitungsanlage mit dem Vorteil der nicht vorhandenen lokalen Abgasemission und der traktionsgerechten Leistungsbereitstellung zur Verfügung. Durch die geringe Fahrzeugmasse könnten bei der Straßenbahn auf Gummireifen politisch gewünscht städtebaulich sensible Bereiche ohne Fahrdrat mit Batteriespeicher gequert werden – und auch Hybridantriebe optional berücksichtigt werden.
- Entgegen der allgemeinen politischen Tendenz sollte bei spurfreien Großraumfahrzeugen die Möglichkeit eines Obusverkehrssystems nicht gänzlich aus den Augen verloren werden, insbesondere bei der Verwendung eines Doppelgelenkbusses, wo der elektrische Fahrantrieb seine fahrdynamischen Vorteile bei gleichzeitiger Geräuscharmut merkbar ausspielen kann und die kostenintensive elektrische Ausrüstung weniger deutlich ins Gewicht fällt.
- Es ist aber auch festzustellen, dass der elektrische Fahrantrieb aufgrund der Entwicklungserfolge bei der Abgasreduktion eines herkömmlichen Dieselaggregats und ruckfreier Schaltvorgänge nur hinsichtlich der Geräuschemission klare Vorteile aufweist – und gleichzeitig eine stadtgestalterische Diskussion über die notwendige Fahrdratanlage nach sich ziehen wird.
- So bietet sich als Antriebslösung einer dreiteiligen Niederflurvariante für den Einsatz in Städten mit nicht bewegter Topographie und hohem Fahrgastaufkommen mittelfristig der weiter optimierte abgasbehandelte und damit in zunehmendem Maße auch emissionsarme Dieselantrieb an. Der diesel-hydromechanische Mittelmotor als bewährtes Großserienprodukt ist mit Abstand die wirtschaftlichste Antriebswahl und – betrachtet man den Energiepfad unter Einbeziehung eines Abgasnachbehandlungssystems – auch zunehmend ökologisch sauber.
- Noch fraglich sind wirksame Maßnahmen, mit denen man die Motorgeräusche eines diesel-hydromechanischen Antriebs deutlich reduziert. Die Abgasnachbehandlung hat man tendenziell im Griff – nicht aber die Geräuschemission des Dieselaggregats.
- Der diesel-elektrische Antrieb mit einem Bremsspeichersystem wird weiter entwickelt werden, um langfristig den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie zu ermöglichen. Ein Doppelgelenkbus mit hervorragenden Traktionseigenschaften auch bei bewegter Topographie bringt durch die Notwendigkeit eines diesel-elektrischen Mehrachs-antriebs einen sprunghaften Kostenanstieg mit sich. Anzumerken ist,

dass der diesel-elektrische Antrieb auch mit einem Bremsspeichersystem nicht das Problem der Geräuschbelastung löst, sondern dieses lediglich vermindert.

- In Städten, in welchen die Traktionseigenschaften eines diesel-hydrmechanischen Antriebskonzepts bei Doppelgelenkbussen als nicht ausreichend angesehen wird und eine Oberleitungsanlage keine politische Zustimmung findet, sollte auf den bewährten Schubgelenkbus mit Abgasnachbehandlung gesetzt werden.

## A.7 Literatur

**N.N. (2002):** Schadstofffrei in die Zukunft. Regionalverkehr 5-6/2001, S. 10-14.

**Bach, E. (2001):** Konventionelle oder alternative Antriebe bei Omnibussen. 14. Gothaer Technologenseminar, 8./9. November 2001.

**Bach, E., Villmow, H.-D. (2000):** Fünf Jahre Erdgasbusse im Freistaat Thüringen – Eine Analyse und Wertung. Nahverkehrspraxis Nr. 4-2000, S. 4-11.

**Curtil, A. (2001):** Umweltfreundliche Bustechnologien. UITP-Bustagung in Maastricht, 8./9. Februar 2001.

**Dorn, H. (2000):** Enttäuschter Gemeinderat lenkt Duobus auf das Abstellgleis, Esslinger Zeitung, 28.06.2000.

**Eberwein, B. (2001):** Brennstoffzellenbus. UITP-Bustagung in Maastricht, 8./9. Februar 2001.

**EvoBus GmbH (1996):** Radnabenantrieb - für die Revolution im Omnibusbau wie maßgeschneidert. in: Alternative Antriebe, Öffentlichkeitsarbeit EvoBus, Mannheim 1996.

**Forschungsprogramm THERMIE:** Diesel-elektrische Hybridbusse. Statuskonferenz in Nürnberg, Deutschland. Organisation: UITP (Brüssel), VAG (Nürnberg) und ENTRAC (Dublin), 10./11.12.98.

**Heinrich, F., Henrich, J. (2000):** Kostenbetrachtungen zum Diesel-/Erdgasbussystem-System. Nahverkehrspraxis Nr. 3-2000, S. 4-11.

**Hondius, H., (1995):** Die „Ultra Low Floor“-Straßenbahn der Wiener Verkehrsbetriebe (WVB). Der Nahverkehr, 9/95, S. 66-72.

**Hondius, H., (1998):** Zwischenlösungen oder „hybride“ oder „bi-modale“ Verkehrsmittel – Geführte Duobusse oder Straßenbahnen auf Gummireifen? Der Nahverkehr, 1-2/98, S. 60-71.

**Hondius, H., (1999/a):** Obusse in der westlichen Welt – Perspektiven einer umweltfreundlichen Alternative zu Dieselbus und Straßenbahn. Der Nahverkehr, 9/99, S. 19-24.

**Hondius, H., (1999/b):** City Transport 1999. Stadtverkehr 9/99, S. 19-26.

**Hondius, H., (2000):** Entwicklungsperspektiven des elektrisch angetriebenen Busses. Der Nahverkehr, 7-8/99.

**Hondius, H., (2001/a):** Innovation im öffentlichen Nahverkehr auf der Straße. Stadtverkehr 4/2001, S. 9-14.

**Hondius, H., (2001/b):** Die Entwicklung der Niederflur- und Mittelflur-Straßen- und Stadtbahnen. Stadtverkehr 1/2001, S. 6-29.

**Jacoby, Ch. (1999):** Kosteneffiziente Partikelreduktion – Schwefeldreier Diesel und Erdgas im ökonomischen Vergleich. Der Nahverkehr, 7-8/99, S. 53-54.

**Koch, R., Müller, H. (2002):** Combino duo – die Zwei-System-Straßenbahn. Der Nahverkehr, 6/02, S. 24-26.

- Lee, B. (2000):** Stadtentwicklung und Bussysteme, Referat auf der Jahrestagung 2000 des VDV, Berlin.
- Lenz, U. (1999):** Schwingungsisolierende Rillenschienenlagerung bei Stadtbahnanlagen. Verkehr und Technik, 1999 Heft 6, S. 266-271.
- Lexen, U. (2000):** Emissionsreduzierte Antriebe für Stadtlinienbusse. Internationales Verkehrswesen, (52) 9/2000 Heft 6, S. 394-396.
- Luke, B. (1999):** São Paulo Gets Trolleybus System. Metro Magazine. January/February 1999, S. 39-42.
- Mock, H (1999):** Hin zum „No-Emission-Vehicle“. Regionalverkehr 1/99, Nahverkehrstendenzen, S. 10-14.
- Mohl, A. (2000):** Der Duobus in der Sackgasse: Abschied auf Raten, Stuttgarter Zeitung, 5.07.2000.
- Müller-Hellmann, A., Schmidt, M., Pütz, R. (1998):** Die Zukunft der Busantriebe – Aspekte des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit. Der Nahverkehr, 5/98, S. 30-37.
- Niemann, K. (1984):** Elektrischer Antrieb als Komponente des Busverkehrssystem, in: Hat der Obus eine neue Zukunft. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V., Kurs X/83, 8.-9.1983 in Essen, S. 60-67, Bergisch-Gladbach 1984.
- Pilz, H.-J. (1999):** Alternative Antriebe. Verkehr und Technik 1999, Heft 9, S. 387-390.
- Pütz, R., Schmidt, M. (1999):** Chancenreiche Kraftstoffsysteme und Antriebstechnologien für Linienbusse. Internationales Verkehrswesen (51), 9/99, S. 397-401.
- Rieck, G. (1999):** Der „Bus of the Year 1999“. Regionalverkehr 1/99, Nahverkehrstendenzen, S.18-19.
- Schaller, K. V. (2000):** Zukünftige Antriebssysteme für Busse, Nahverkehrspraxis Nr. 12-2000, S. 4-6.
- Signer, M. (2000):** Technisches Potential nutzen – Möglichkeiten der Reduzierung von Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen der Nutzfahrzeuge. Der Nahverkehr 04/00, S. 37-42.
- Stadtbahnen ohne Fahrdracht:** Praxis und Technik mit Bordstrom betriebener Linienbusse. Seminar in Kaiserslautern. Veranstalter: Land Rheinland-Pfalz, VDV, Stadt Kaiserslautern, Planungsgemeinschaft Westpfalz, 28./29.10.1999.
- Stickel, H. (1999):** Erdgas oder Abgasfilter – Über die Zukunft der Fahrzeugtechnik im ÖPNV. Der Nahverkehr 11/99, S. 40-45.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV, 1999):** Linienbusse – fahrgastfreundlich, wirtschaftlich, schadstoffarm. ISBN 3-87094-641-5. Düsseldorf: Alba, 1999.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV, 2002):** VDV-Position: Dem Wassertstoffantrieb gehört die Zukunft – dem Dieselmotor die Gegenwart. Köln, 2002.
- Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD, 2001):** Bus, Bahn und Pkw im Umweltvergleich; Untersuchungsergebnisse von: Heidelberger Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Bonn 2001.
- Völkening, W. (2000):** Brennstoffzellentechnik bei DaimlerChrysler, Nahverkehrspraxis Nr. 12-2000, S. 4-6.
- Winter, C.-J. (2000):** Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle an Bord?, Nahverkehrspraxis Nr. 12-2000, S. 8-11.

## **Anhang B**

### **Automatische Querführung**





# B.1 Aspekte einer automatischen Querführung

## B.1.1 Zielsetzung einer automatischen Querführung

Gerade bei den Transportsystemen zwischen Bus und Bahn gewinnt eine automatische Querführung an Bedeutung. Die mehrteiligen Straßenfahrzeuge mit Sonderlänge benötigen eine hohe Fahrpräzision, damit eine verkehrssichere Teilnahme am allgemeinen Straßenverkehr und eine betriebssichere Linienbedienung, beispielsweise bei Haltestellenanfahrungen, trotz der erweiterten Fahrzeugdimension gewährleistet werden kann.

Da bei europäischen Stadtstrukturen überdies nicht mit großzügigen, konfliktfreien Verkehrsflächen gerechnet werden kann, soll eine automatische Querführung auch die Inanspruchnahme der knappen Verkehrsfläche für derartig dimensionierte Fahrzeuge möglichst gering halten.

Daneben ist eine aufwandsarme automatische Querführung auch Bestandteil bimodaler Fahrzeugkonzepte. Durch die Verwendung zweigetauglicher Straßenfahrwerke besteht die Möglichkeit, ohne Fahrtunterbrechung zwischen der handgelenkten und der spurgeführten Betriebsweise zu wechseln – oder permanent spurgeführt auf Gummireifen mit der herkömmlichen Straßenbahn zu konkurrieren.

Vorteile einer Bimodalität werden im Allgemeinen darin gesehen, dass die Straßenfahrwerke aufgrund des leichteren Fahrzeuggewichts die Lastabtragung mit übernehmen können und deshalb eine Führung im Vergleich zum Rad/Schiene-System im Straßenraum baulich weniger aufwändig ausgebildet werden muss. Außerdem kann sie auf den Bereich der Stammstrecke begrenzt bleiben. Ferner ist bei Bimodalität ein stufenweiser Ausbau denkbar.

Ein grundsätzlicher Vorteil einer automatischen Querführung ist unabhängig von der Fahrzeuglänge an der Schnittstelle Haltestelle/Fahrzeug zu sehen. Bei Haltestellen, die geführt angefahren werden, kann auch für

Mobilitätsbehinderte unabhängig von den Fertigkeiten des Fahrzeugführers durchweg eine angemessene Zugänglichkeit zu dem Nahverkehrsfahrzeug sichergestellt werden.

### **B.1.2 Zulässige Fahrzeuglänge ohne Einsatz einer automatischen Querführung**

Im Geltungsbereich Europa enthält die Fassung der EU-Richtlinie 96/53/EG „Massen und Abmessungen“ (grenzüberschreitender Verkehr) eine zulässige Gesamtlänge für Gelenkbusse von 18,75 m. Der parallel zu diesem Text vorliegende Entwurf einer EU-Richtlinie „Massen und Abmessungen“ für die Typprüfung der Fahrzeuge sieht die gleichen Abmessungen vor. Hierbei lässt der Art. 4, Abs. 5 der 96/53/EG die Möglichkeit offen, dass während eines Versuchszeitraumes in bestimmten örtlichen Verkehrsbereichen auch Fahrzeuge zum Einsatz kommen, die auf neuen Technologien oder Konzepten beruhen, die bestimmte Merkmale der Richtlinie nicht einhalten können.

Trotz der genannten Festlegungen ist es heute noch möglich, in bestimmten EU-Mitgliedsstaaten auf Basis der nationalen Vorschriften Gelenkbusse mit einer größeren Länge zuzulassen. Hier sind insbesondere Frankreich mit einer zulässigen Länge von Doppelgelenkbussen von 24,50 m (Einzelachslast 13 t, zulässiges Gesamtgewicht 38 t) und Schweden mit einer grundsätzlich zulässigen Länge von 24,00 m (Einzelachslast 10 t, Antriebsachse 11,5 t, zulässiges Gesamtgewicht 28 t) zu nennen.

In Deutschland ist derzeit über die StVZO die zulässige Länge für Gelenkbusse auf 18,00 m beschränkt. Deshalb ist es zur Zeit nicht ohne Weiteres möglich, auf Basis der nationalen Vorschriften einen Doppelgelenkbus mit z. B. einer Länge von 25,00 m zuzulassen. Aufgrund verschiedener Initiativen, u. a. des VDV und der Bergischen Universität Wuppertal, stellte der Bund-Länder-Fachausschuss „Technisches Kraftfahrzeugwesen“ (BLFA-TK) Anfang 2002 mit Rückblick auf den erfolgreichen Probebetrieb auf der ÖPNV-Trasse in Oberhausen (1998, Doppelgelenker Van Hool; 2000 Anhänger-gespann Scania Bus/Hess) in Aussicht, dass unabhängig von nationalen Vorschriften zunächst auf drei Jahre befristete Ausnahmegenehmigungen nach § 70 StVZO von den zuständigen Bezirksregierungen erteilt werden können, sofern sich aus kraftfahrzeugtechnischer Sicht keine Bedenken ergeben und die Kurvenlaufeigenschaften nach § 32 d StVZO erfüllt werden.

Zeitgleich beschlossen die EU-Parlamentarier in einer am 9.3.2002 veröffentlichten Richtlinie der europäischen Kommission und des Rates eine Harmonisierung der höchstzulässigen Abmessungen der Omnibusse. In der entsprechenden Richtlinie 2002/7/EG, die im EG-Amtsblatt L 67 vom 9. März 2002 veröffentlicht worden ist, werden mit den neuen Bestimmungen der Richtlinie 96/53/EG, Anhang I, folgende Maximallängen für Busse genannt:

- Gelenkbus: 18,75 m
- Anhängergespann: 18,75 m.

Auch mit Anwendung der Richtlinie 96/53/EG bleibt der Einsatz von Doppelgelenkbussen im 25-m-Bereich möglich, da die Richtlinie ausdrücklich nicht für „Gelenkbusse mit mehr als einem Gelenkabschnitt“ gilt. Bis zum 9.3.2004 müssen alle EU-Länder diese Richtlinie im Rahmen der Harmonisierung in nationales Recht umzusetzen.

Bei gummiereiften Fahrzeugen mit einer Gesamtlänge über 25,00 m sollte außer Frage stehen, dass der Betrieb spurgebunden zu sein hat. Ein entsprechendes System sollte so ausgeführt werden, dass eine Einordnung in den Gesetzes- und Ordnungsrahmen der Straßenbahnen, gegebenenfalls „besonderer Bauart“, ermöglicht wird.

### **B.1.3 Begriffe zur Querführung bei Straßenfahrwerken**

Bei einer *Spurführung* an einer Monoschiene wird der Kraftschluss der Tragräder zum Bremsen und zur Beschleunigung benutzt. Die Seitenkräfte werden überwiegend von schienengeführten Führungsrollen aufgenommen. Der spurtreue Nachlauf der Achsen wird über Führungsrollen selbsttätig gehalten und ist vom Kraftschluss zwischen Tragrädern und der Fahrbahn unabhängig.

Bei einer *Spurregelung* wird eine Leitinfrastruktur entweder mechanisch (z. B. Leitkante) oder berührungsfrei (z. B. induktiv) abgetastet. Über eine Regeleinheit erfolgt bei Abweichungen von dem Sollkurs eine Änderung der (Vorder-) Radeinschläge. Die Seitenkräfte werden wie bei der Handlenkung von den Tragrädern aufgebracht, d. h. alle Stellkräfte für die Seitenführung werden unter Ausnutzung des Kraftschlusses Tragrad-Fahrbahn aufgebracht.

Ein *Lenkassistent* basiert auf einer berührungsfreien Spurregelung, wobei der Fahrer im Gefahrenfall sowie bei einem technischen Defekt die Verantwortung für die sichere Betriebsabwicklung auch bei aktivierter, berührungsfreier Spurregelung trägt (Rückfallebene Fahrer). Die nachfolgend untersuchten berührungsfreien Spurregelungen entsprechen einer assistierenden Lenkhilfe und sind vom Fahrer in jeder Betriebsituation übersteuerbar bzw. ausschaltbar.

Eine hohe *Spurtreue* ist gegeben, wenn die Achsen der einzelnen Wagenteile exakt in der Spur des Vorderwagens ohne Schleppkurve laufen. Bei der Handlenkung und einer Spurregelung geben die Anzahl der gelenkten Achsen sowie die geometrischen Beziehungen, die aus den Längen und den Drehpunkten der jeweils miteinander verbundenen Wagenkästen resultieren, den Grad der Spurtreue bzw. die Kurvenlaufeigenschaften vor.

Bei dem *Rad/Schiene-System* erfolgt eine Radsatzführung im Gleis. Im geraden Gleis werden notwendige Rückstellkräfte hauptsächlich durch profilierte Laufflächen und Schienenprofile erzeugt. Beim engen Bogenlauf werden Seitenkräfte von dem Spurkranz auf die Schiene übertragen.

Rad/Schiene-System	Gummirad/Straße-System		
	mechanische Spurführung	mechanische Spurregelung	berührungsfreie Spurregelung
<b>Spurhaltung</b>	profilierte Lauffläche, profiliertes Schienenprofil	Führungsrollen mit beidseitigem Spurkranz	Lenksignale über Leitinfrastruktur Stellkräfte erfolgen über Reibschluß
<b>Spursicherung</b>	Profilform, Schwerkraft	Betriebsspurführung ist gleichzeitig Notspurführung	Notführung im Spurkanal/ Lenkgestelle mit Notanschlag Rückfallebene Fahrer

Tabelle B.1: Querführungssysteme im Überblick

Die Gruppe der mechanisch quergeführten Fahrzeuge ist unempfindlich gegen Änderungen des Reibwertes der Fahrbahn. Vereisung, Wasser oder Schmiere auf der Fahrbahn führen hier nicht zum Verlust der Querführung. Diese Tatsache stellt einen wesentlichen Sicherheitsfaktor dar, vergleichbar mit dem Rad/Schiene-System.

#### B.1.4 Anforderungen an ein Querführungssystem

- Ein automatisches Querführungssystem für gummibereitete Fahrzeuge muss so beschaffen sein, dass es den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügt. Ein plötzliches Versagen von Komponenten des Querführungssystems darf zur Degradation des Fahrkomforts



führen, keineswegs aber zu gefährlichen Situationen. Beim Versagen der Querführung, Verlust des Kraftschlusses und extremen Störgrößen ist die sichere Lage eines Fahrzeugs der „Halt“ längs zur Leiteinrichtung.

- Die dynamische Stabilität muss bei allen Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Bewegungen, Reibwertänderungen der Fahrbahn, Beladungen, Fahrbahneigungen, Seitenwind, Schwerpunktsverschiebungen und Nutzlaständerungen etc. gewährleistet sein. Für alle auftretenden Fälle muss eine ausreichende Stabilitätsreserve vorhanden sein (Dual-Mode-Bus-Systeme 1975, S. 56).
- Mit (witterungsbedingten) Reibwertänderungen der Fahrbahn, einem plötzlichen Abfall des Druckes in irgendeinem Reifen (führend oder tragend) oder kleinerer Fremdkörper im Bereich der Radabrollfläche (z. B. Ziegelstein o. ä.) muss gerechnet werden. Es darf zur Degradation, nicht zum Verlust der Querführung führen (Dual-Mode-Bus-Systeme 1975, S. 56).
- Bei Bereichen ohne eine mechanisch passive Notführung trägt der Fahrer auch bei aktivierter, berührungsfreier Spurregelung die Verantwortung für eine sichere Betriebsabwicklung (RUBIS 2000). Im Zweifelsfall ist die Spurregelung auszuschalten (Rückfallebene Fahrer). Es ist ein Sicherheitsraum in Abhängigkeit der zulässigen Geschwindigkeit und des zur Verfügung stehenden Lichtraumprofils festzulegen, um ein gefahrloses Ausregeln von Störgrößen zu ermöglichen.
- Sofern bei einer berührungsfreien Spurregelung durch ein mehrfach redundant ausgelegtes System der Nachweis einer ausreichenden Gesamtzuverlässigkeit erbracht werden kann (Rückfallebene System), trägt der Fahrer ausschließlich für den Ablauf des Systemwechsels und bei witterungsbedingten Haftreibungsveränderungen der Fahrbahnoberfläche die Verantwortung für eine sichere automatische Betriebsabwicklung. Auch hier ist im Zweifelsfall die Spurregelung auszuschalten, bzw. auf eine Inbetriebnahme zu verzichten.
- Betriebsanlagen, die für ein Fahrprogramm mit aktivierter, berührungsfreier Spurregelung ausgelegt sind, sind so zu bauen, dass zumindest ein eingeschränkter Fahrbetrieb auch ohne aktivierter, berührungsfreier Spurregelung (konventionelle Handlenkung) aufrecht erhalten werden kann.

### B.1.5 Prinzipien aktueller Querführungstechniken

Unter einer Querführung versteht man die automatische oder vom Fahrer vorgenommene Lenkung eines Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn unter Berücksichtigung der dabei auftretenden Störeinflüsse. Nachfolgend aufgeführte Querführungstechniken bei Fahrzeugen auf Basis der Bustechnologie werden im Weiteren ausführlich dargestellt:

- Handlenkung (einschließlich Formstein mit Selbstlenkungseffekt im Bereich einer Haltestelle),
- eine mechanische Spurregelung der Vorderachse an einer Leitkante,
- eine berührungsfrei arbeitende Spurregelung,
- eine Spurführung mit mechanischer Anlenkung an einer Monoschiene.

Erwähnt sei der Vollständigkeit halber die bewährte Rad/Schiene-Technik bei Straßenbahnen.

## B.2 Handlenkung bei Fahrzeugen mit Sonderlänge

### B.2.1 Mehrachslenkung

Es ist Stand der Technik, dass Einfach-Gelenkbusse mit Vorderradlenkung eine verkehrstechnisch hinnehmbare Schleppkurve befahren; bei einem mehrgliedrigen, vierachsigen Fahrzeug genügt demzufolge bereits eine weitere Lenkachse für eine ausreichende Spurgenauigkeit, d. h. die Achsen der weiteren Wagenteile laufen genügend genau in der Spur des Vorderwagens (**Bild B.1**). Eine Steuerung von Doppelgelenkbussen nur über die Vorderachse wie beispielsweise in Curitiba oder São Paulo (Brasilien) bedingt eine enorme Schleppkurve – die bestrichene Fahrspurbreite bei einer engen Kurvenfahrt beträgt näherungsweise das Dreifache der Fahrzeugbreite – und ist ohne konsequente geradlinige Anfahrt an eine Haltestation, ein umsichtiges Verhalten der weiteren Verkehrsteilnehmer sowie Hilfslinien für den Fahrer insbesondere bei Kurvenfahrten nicht umsetzbar (**Bild B.2**). Die Umsetzung erfordert in jedem Fall das Vorhandensein großzügiger, konfliktfreier Verkehrsflächen, mit denen aber bei europäischen Stadtstrukturen keineswegs gerechnet werden kann.

Insbesondere auf bereits eingeführten Linienverläufen von Gelenkbussen ist unter der Annahme, dass die fahrzeugspezifischen und fahrdynamischen Grenzwerte der Fahrzeuge und die aus den Erfordernissen der Verkehrssicherheit resultierenden Entwurfs-elemente bei Straßenverkehrsanlagen berücksichtigt worden sind, davon auszugehen, dass bei vierachsigen Fahrzeugen eine Führung oder Regelung egal welcher Art entbehrlich ist. Es könnte nach einer streckenspezifischen Eignungsprüfung auf die gängige Handlenkung zurückgegriffen werden.

### B.2.2 Betriebserfahrungen

Nach Aussage des Fahrdienstleiters der Lütticher Verkehrsbetriebe TEC, die in ihrem Fahrzeugpark einen Doppelgelenker führen, ist die zu beachtende Schleppkurve bei dem Buszug Van Hool AGG 300 trotz der



Bild B.1: Hervorragende Spurtreue mittels Allradlenkung. Eine Schleppkurve ist vom Fahrer nicht zu beachten, Beispiel GLT/TVR in Handlenkung. (GIE)



Bild B.2: Hilfslinien auf der Fahrbahnoberfläche und querende Fußgänger mit respektvollem Sicherheitsabstand, Beispiel Curitiba (BUSHELL)



Bild B.3: Ein Van Hool AGG 300 in der Kreisfahrt. Drei der vier Achsen sind angelenkt.

Fahrzeuglänge von 24,70 m vergleichbar mit der eines Standard-Schubgelenkbusses. Die Erkenntnisse aus den Praxiseinsätzen in Utrecht und Aachen bestätigen diese Aussage. Die guten Kurvenlauf-eigenschaften des Doppelgelenkers sind darauf zurückzuführen, dass drei der vier Achsen angelenkt werden (**Bild B.3**).

Nach dem Oberhausener Testeinsatz eines Van-Hool-Doppelgelenkers ist von den Fahrern der Stadtwerke Oberhausen AG (STOAG) vor allem das Spurverhalten der beiden angelenkten Nachlaufachsen und das gute Kurvenverhalten des vierachsigen Fahrzeugs gelobt worden (HOEFS 2000, S. 31). Gewöhnungsbedürftig ist nach Einschätzung der Fahrer der Doppelgelenkbus insofern, da der Schwenkbereich in die entgegengesetzte Richtung des eigentlichen Vorderradeinschlages vom Fahrerplatz aus nicht beobachtet werden kann und – wie auch beim Solobus mit Personenanhänger oder einem Standard-Schubgelenkbus – vom Fahrzeugführer „nach Gefühl“ berücksichtigt werden muss.

Bei der engstmöglichen Kreisfahrt mit einem Halbmesser von  $R_a = 12,00$  m ( $R_i = 5,38$  m) beträgt das Ausschwenkmaß beim Einlenken aus der Geradeausfahrt rund 0,70 m, wobei dieser Wert nach StVZO 0,80 m nicht überschreiten darf. Langfristig wird EU-weit allerdings eine allgemeine Begrenzung des Ausschwenkmaßes auf 0,60 m angestrebt. Zum Vergleich: Die BOStrab lässt einen Wagenausschlag in den Lichtraum-richtlinien von 0,65 m zu, allerdings liegen die üblichen Halbmesser bei Straßenbahnen selten unter  $R_a = 25,00$  m.



Bild B. 4: Scania Bus/Hess-Anhängergespann beim Befahren eines Linienweges in Hürth, welcher üblicherweise nur mit 10 m - Stadtbussen bedient wird.

Auch die Bewertung eines vierachsigen Buszuges mit Personenanhänger ist im Hinblick auf die Manövrierfähigkeit positiv einzustufen (**Bild B.4 u. B.5**):

- Der Flächenbedarf zum Bewegen im Straßenraum ist infolge der beiden über die Deichsel mechanisch angelenkten Achsen (Einzelradaufhängung) des Personenanhängers eher kleiner als beim wesentlich kürzeren Standard-Schubgelenkbus. Der Wendekreis des in Oberhausen eingesetzten Anhängergespanns der TAK Tallinn (Estland) hat bei einer Gesamtlänge von 23,23 m nur einen Wendekreis von knapp über 21,50 m ( $R_i = 3,83$  m;  $R_a = 10,78$  m). Haltestellenanfahrten bedürfen der Eingewöhnung.
- Die äußere Hüllkurve ist im dichten Verkehr bei zwei Fahrspuren problematisch, zum Beispiel beim Linksabbiegen schert der Anhänger beim Einlenken zunächst nach rechts aus. Hier bedarf es zunächst einer Gewöhnungsphase. Über die Spiegel ist die rechte Fahrzeugaußenwand beim Linksabbiegen nicht einsichtig.



Bild 5: Beide Achsen des Personenanhängers werden angelenkt. So ist es möglich, dass der Anhänger nahezu spur-treu der Spur des Zugfahrzeuges folgt.

Insgesamt erscheint der Betrieb auch bei Geschwindigkeiten bis 70 km/h als fahrdynamisch stabil, wenngleich kleine Schlingerbewegungen den Fahrkomfort beeinflussen.

Gerade die Erfahrungen mit den vierachsigen Buszügen zeigen, dass für den fahrgastfreundlichen Einsatz eines niederflurigen Großraumbusses die Einrichtung von Haltestellen, die nahezu geradlinig angefahren werden können und frei von Falschparkern sind – also Buskaps, Haltestelle am Fahrbahnrand oder passive Haltestellenbuchten – anzustreben sind. Auf diese Weise können höhengleiche und nahezu spaltfreie Ein- und Ausstiegsverhältnisse auch bei Omnibussen mit Sonderlänge erzielt werden. Zweckmäßig ist der Einsatz einer speziellen Bordsteinkante als Abstandshilfe.

### B.2.3 Formstein mit Selbstlenkungseffekt

Nur für den Haltestellenbereich sind zu Anfang der neunziger Jahre Forschungsarbeiten unter dem Begriff „Niederflur-Bussystem-Abstandshilfe“ erstellt worden. Im Zusammenspiel mit der Niederflurfahrzeugtechnik entwickelte man als eine sehr wirkungsvolle Fahrhilfe zur präzisen, nahezu höhengleichen und spaltfreien Haltestellenanfahrt den Formstein mit Selbstlenkungseffekt.

Von vornherein dürfen Niederflur-Fahrzeuge nicht nur für sich gesehen werden, sondern es ist auch eine Abstimmung mit den Haltestellen erforderlich (**Bild B.6**). Durch den Einsatz von Niederflurbussen allein, ohne eine entsprechende Anpassung der Haltestellen, kann ein schnellerer und komfortabler Fahrgastwechsel und damit eine zügigere Betriebsabwicklung nur bedingt herbeigeführt werden. Auch ist ein barrierefreier Zugang zum Nahverkehr für Fahrgäste, deren Mobilität eingeschränkt ist, durch Niederflurbusse allein noch nicht gegeben. Neben einer besonderen baulichen Kantenausbildung des Bordsteins setzt ein Niederflur-Busverkehrssystem ein geradliniges, bordparalleles Anfahren der Haltestelle voraus, um einen weitestgehend spaltfreien Zugang zu gewährleisten.

Die bordparallele Einfahrt in eine Haltestelle, bzw. die daraus abzuleitende planerische Forderung, eine Haltestelle auf der Fahrbahn anzulegen – und damit die Haltestellenform Busbucht nicht zu verwenden – hat für die Fahrgäste auch sicherheitsrelevante Bedeutung: Bei der Anordnung einer Haltestellenbucht ist unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten insbesondere nachteilig, dass

- beim Ein- und Ausfahren eine unangenehme Seitenbeschleunigung auf stehende bzw. zum Ausstieg gehende oder Sitzplatz suchende Fahrgäste einwirkt,
- Busse beim Ein- und Ausfahren mit den Fahrzeugüberhängen Seitenraumflächen überstreichen und



**Bild B.6:** Hochflur-Straßenbahn - inakzeptabler Zugang trotz Spurführung. Heute weitgehend durch Niederflurfahrzeuge abgelöst.



- die Warteflächen in den Seitenräumen durch den Flächenbedarf der Buchten häufig sehr klein ist.

Nachteilig ist darüber hinaus, dass das Wiedereinfädeln aus einer Haltestellenbucht in den übrigen Fahrverkehr trotz des bestehenden Vorrechts der Busse bei starkem Kraftfahrzeugverkehr erschwert ist.

## B.2.4 Einsatzhinweise des Formsteins



Bild B.7: Haltestelle in der Geraden, spaltfreie Halteposition durch Formstein. ÖPNV-Trasse in Oberhausen.

Eine Reduzierung der Fußbodenhöhe bei Niederflurbussen auf allgemein 320 mm und die Möglichkeit, durch „Kneeling“-Vorrichtungen im Haltestellenbereich den Einstiegsbereich der Fahrzeuge sogar bis auf 250 mm zu senken, eröffnet neue Möglichkeiten, setzt aber auch eine Erhöhung der Bordsteinkanten voraus, um die Differenz zwischen Bordsteinhöhe und Einstiegsbereich zu reduzieren. Für die Festlegung der Höhe an Bushaltestellen ist neben der Fußbodenhöhe auch die Federung der Fahrzeuge infolge der Fahrgastbesetzung entscheidend; außerdem ist zu berücksichtigen, ob die Haltestelle geradlinig angefahren werden kann (**Bild B.7**).

Unter günstigen Bedingungen können an Bushaltestellen 180 mm, bei sehr guten Bedingungen 200 mm hohe Warteflächen vorgesehen werden. Optimal reduzierte Reststufen und Spaltbreiten lassen sich nur erreichen, wenn die Fahrzeuge die Haltestelle bordparallel anfahren und auch wieder verlassen können sowie der Haltebereich nicht in einem Bogen liegt. Anderenfalls müssen größere Stufen und Spalten akzeptiert werden, um auszuschließen, dass die Fahrzeuge durch ein Aufsetzen auf der Wartefläche oder eine Kollision mit der Bordsteinkante beschädigt werden. Für Rollstuhlfahrer (vorrangig bei der Benutzung von Rollstühlen mit Elektroantrieb) ist zudem zur Überwindung des Restspalts eine fahrzeugseitige Klappbrücke als Ein- und Ausstiegshilfe vorzuhalten.

Die Forderung nach einer möglichst geradlinigen Anfahrt gilt hierbei nicht nur für spurfreie Doppelgelenker sondern auch für spurgeregelte Busbahnen und Straßenbahnen, da bei einer erhöhten Haltestellenplattform (180-350 mm) das Überstreichen der Wartefläche mit dem Fahrzeugüberhang unabhängig vom Querführungssystem ebenso zu Beschädigungen führen würde. Darüber hinaus ist der Fahrgastwechsel von dem Fahrzeugführer bei einer Haltestelle im Aussenbogen nicht einsichtig. Busbuchten bzw. Haltestellen, die keine geradlinige An- und Abfahrt der Fahrzeuge ermöglichen, sollten deshalb grundsätzlich vermieden werden.



Sofern gewährleistet ist, dass sich kein verkehrswidrig abgestelltes Fahrzeug sowohl im Haltestellenbereich als auch bei der An- und Zufahrt befindet, kann bei einer geradlinigen Anfahrt auch ein 300 mm hoher Formstein (wie auf der Zuidtangenten Amsterdam) zum Einsatz kommen. Erforderlich sind hierbei im Nachlauf verzögert angesteuerte Lenkachsen, beispielsweise über eine intelligente Lenkungselektronik (z. B. Bauart Neoplan, elektrohydraulische Lenkanlage, EHLA oder Bauart ZF, Rear Axle Electronical Controlled, RASEC) oder einer aproportionalen Nokkensteuerung (z. B. Van Hool), um bei dem Verlassen des Haltestellenbords bei starker Vorderradeinstellung nicht den Bordstein mit dem Fahrzeugheck zu streifen.

Die aproportionale Achsanlenkung der Achsen drei und vier erfolgt beispielsweise bei dem Van Hool - Doppelgelenker über mechanische Lenkwinkelgeber an der Gelenkdrehscheibe und einem Lenkgestänge unter dem Wagenkasten. Im Regelfall kommt das Lenkgestänge erst dann zur Anlenkung der Nachläuferachsen zum Einsatz, wenn der Lenkwinkelgeber einen Winkel größer 13° Grad erfasst. So wird gewährleistet, dass bei der Abfahrt von einer Haltestelle das Heck weder die Wartefläche der Haltestelle überstreicht und Fahrgäste gefährdet noch der Wagenkasten bei Haltestationen mit einer Wartefläche höher 180 mm mit dem Formstein kollidiert. Auch bei einem Fahrer-Assistenz-System zur Haltestellenanfahrt müsste auf eine verzögert angesteuerte Lenkachse zurückgegriffen und die Haltestellenan- und abfahrt auf Falschparker streng kontrolliert werden.

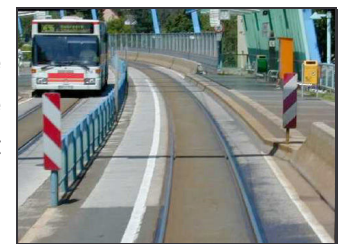


Bild B.8: Hilfsmarkierung in der Flucht der Fahrerperspektive zur bordparallelen Anfahrt an einen profilierten Formstein, Beispiel Oberhausen

Zur besseren Einschätzung der Fahrzeugstellung vor dem Anlenken an den profilierten Formstein kann ergänzend eine Hilfsmarkierung auf der Fahrbahnoberfläche eingesetzt werden (**Bild B.8 u. B.9**). Zur Vermeidung von Fahrbahnabsenkungen und Spurrinnen im Haltestellenbereich sollte insbesondere bei Buskaps und Haltestellen am Fahrbahnrand ein besonderes Augenmerk auf einen verformungsresistenten Straßenoberbau gelegt werden, damit auch auf Dauer einerseits eine nahezu spaltfreie Anfahrt möglich ist, andererseits aber auch Berührungen zwischen Fahrzeug und Bordstein verhindert werden.



Bild B.9: Führungslinie und profilierter Formstein, Beispiel Straßburg

## B.2.5 Wirkungsweise des profilierten Formsteins

Um an Haltestellen geringe Spaltbreiten zwischen Bustür und Bordstein zu erzielen, können besondere Bord- oder Formsteine eingesetzt werden. Als Anfahrhilfe ist die konkave Anlauffläche des Formsteins exakt auf den Reifenquerschnitt von Bussen abgestimmt. Durch eine geringe Kehlausrundung und der Schrägneigung der Seitenwand um 65° ermöglicht ein solcher profilierter Formstein eine „Querführung mit Selbstlenkungseffekt“, die das Fahrzeug sicher und direkt an die Haltestelle führt.

Der Fahrer lenkt hierzu sein Fahrzeug mit sanftem Druck an das Bord, was bei der mechanischen Spurregelung prinzipiell dem Lenkvorgang bei der Einfädung in einen spurgeführten Streckenabschnitt oder der Durchfahrt einer passiven Weiche entspricht.



**Bild B.10:** Variante des Kasseler Formsteins, Anlauframpenbereich (PROFILBETON)

Der Formstein ist besonders verschiebesicher durch die Aufstandsweite von über 40 cm. Selbst direktes Anfahren und damit die Übertragung von Flankenkräften verschiebt ihn nicht aus seiner Lage, da das Rad auf der Fahrfläche des Bordsteins steht, bevor es diesen seitlich berührt (**Bild B.10**). Durch die glatte Oberflächengestaltung der Seitenwand werden Schäden an den Reifenflanken vermieden, wie sie sonst beim zu dichten Heranfahren an herkömmliche Bordsteine auftreten können. Überdies besitzen moderne Niederquerschnitt-Reifen an den Flanken zusätzliche Gummirillen als Verschleißprofil. Fahrzeugseitig ist eine Achsanordnung vorteilhaft, bei der die äußeren Radflanken der Vorder- und Hinterachse in einer Flucht zueinander stehen.

Durch den Einsatz von Formsteinen und einer Fahrerschulung lassen sich ohne fahrzeugseitige Hilfsvorrichtungen Spaltbreiten von 50 bis 100 mm zwischen den Einstiegsbereichen von Niederflur-Fahrzeugen und den Haltestellenborden erzielen.

## B.3 Mechanische Spurregelung an einer Leitkante

### B.3.1 Erfahrungen mit mechanisch geregelten Spurbussen

Bei der mechanischen Spurregelung tasten Fühler eine passive Leiteinrichtung mechanisch ab, und die mechanischen Signale werden im Fahrzeug ohne Hilfsenergie in Vorderradeinschläge umgesetzt (VÖV/VDA 1979, S. 129). Erstmals wurde sie ab dem Jahr 1980 in einem Demonstrationsprojekt in Essen mit Beteiligung von Mercedes-Benz und MAN sowie unter der Projektleitung der Essener Verkehrs-AG (EVAG) und der Studiengesellschaft Nahverkehr (SNV) im Fahrgastbetrieb eingesetzt.

In der ersten Projektphase zur Erprobung der Komponenten wurde eine reine Spurbusstrecke aufgebaut, die von dieselbetriebenen Gelenkbussen befahren wurde. Die Erfahrungen flossen ein u. a. in die Planungen des 1986 eröffneten O-Bahn Busway in Adelaide (Südaustralien; **Bild B.11**). Vom Jahre 1983 an wurde in Essen in einer zweiten Phase der Testbetrieb von spurgeregelten Gelenk-Duobussen und Straßenbahnen auf einer gemeinsamen Trasse (Mischbetrieb) aufgenommen, und in der dritten Projektphase in den Jahren 1987/88 erfolgte schließlich der mechanisch spurgeregelte Mischbetrieb auf einer gemeinsamen, 3 km langen Tunnelstrecke (**Bild B.12**). Aufgrund von Fahrwegproblemen und Kapazitätsengpässen infolge hoher Belegung musste Anfang 1996 der gemischte Betrieb auf der Tunnelstammstrecke eingestellt werden. Die oberirdischen Spurbustrassen mit einem Fahrweg aus Betonfertigteilen sind dauerhaft in das ÖPNV-System der EVAG integriert worden.

Was zeigt nun – ausgelöst durch das Essener Demonstrationsvorhaben – eine Betrachtung der weiteren realisierten Spurbusprojekte:

- In Mannheim liegen Spurbus-Erfahrungen bei einem Mischbetriebsfahrweg mit Schienenfahrzeugen vor, in Adelaide (Australien) mit Schnellfahrwegsabschnitten und im Bereich von Ingenieurbauwerken, letztere auch auf der Shidami-Linie, nordöstlich von Nagoya, sowie auf der Fura Fila-Versuchsanlage in São Paulo (**Bild B.13**).



Bild B.11: Schnellfahrweg für mechanisch geregelte Spurbusse in Adelaide (MERCEDES-BENZ OMNIBUSSE)



Bild B.12: Spurgeführter Duobus im Mischbetrieb mit Straßenbahnen auf der Tunnelstrecke in Essen (MERCEDES-BENZ OMNIBUSSE)



Bild B.13: São Paulo – Geführter Großraum-Trolleybus an einem Hochbahnsteig. Die Führungsrollen werden durch aufgedübelt Stahlprofile unter Vorspannung gehalten. (MARTIRE)

- In Essen wird auf stillgelegten Schienenstrecken deren eigener Bahnkörper ohne einen für den Handlenkungsbetrieb zusätzlichen Breitenbedarf genutzt (Vorteil der Trassensicherung für den ÖPNV).
- Bei einigen Anwendungen in Großbritannien (Leeds, Bradford, Gatwick) wird darüber hinaus die mechanische Spurregelung auf kurzen Verbindungsabschnitten zwischen Knotenpunkten eingesetzt. Eine kurze Spurbustrasse in Mittellage dient hier im Rückstaubereich zur störungsfreien Einfahrt in Kreisverkehre. Ein konventioneller ÖPNV-Sonderfahrstreifen, möglicherweise mit einer baulich einfachen Separierung von der allgemeinen Verkehrsfläche, entspräche aber bei dem hier verfolgten Ziel der Verlustzeitreduzierung eher einer gängigen aufwandsarmen Maßnahmenwahl.

### B.3.2 Technik der mechanischen Spurregelung



**Bild B.14:** Fahrweg mit Leitkanten aus Beton-Fertigteilelementen, die sich in Essen als nahezu wartungsfrei erwiesen haben.

Die Spurbusfahrbahn wird an beiden Seiten durch senkrechte Leitborde begrenzt. Fahrbahn und Leiteinrichtungen bilden somit einen U-förmigen Trog, der beispielsweise an die Pariser U-Bahnstrecken für gummibereifte Fahrzeuge erinnert (AHLBRECHT 1992 S. 5, **Bild B.14**). Bei gemeinsamer Trasse mit Schienenbahnen wird die Fahrbahn bei der Bauart Züblin mitsamt dem Leitbord unabhängig vom Schotterbett zwischen den Schwellenköpfen des Gleises auf Bohrpfählen oder auf Blockfundamenten gelagert.

Bei gemeinsamer Trasse mit Straßenbahnen ist auch die elastische Lagerung auf den Schwellenköpfen des Schotterbettes ausgeführt (Essen und Mannheim). Die Lasten werden hierbei über den Schotteroberbau abgetragen. Eine kostengünstige Fahrwegkonstruktion aus in Längsrichtung mit im Versatz verlegten, quarzsandbeschichteten Holzbalken bietet, unter der Voraussetzung einer hohen Justiergenauigkeit und dauerhaften Befestigungen der Längsbalken, allenfalls bis zu mittleren Geschwindigkeiten einen ausreichenden Fahrkomfort (EVAG 1995, S. 16). Eine elastische Lagerung wird deshalb auf Sonderfälle beschränkt bleiben.

Die fahrzeugseitig zusätzlich angeordneten Tastarme mit den horizontalen Gummiführungsrollen, die vor den lenkbaren Vorderrädern befestigt und mit deren Achsschenkeln verbunden sind, laufen unter Vorspannung an diesen Leitborden entlang und führen den Omnibus in der Sollspur. Die mechanische Übertragung der Lenkinformation innerhalb dieses Regelungssystems erfolgt ausgehend von den Leitborden über die Tastarme mit den Führungsrollen und veranlasst mittels modifizierter Achsschenkel direkt das Einschlagen der Vorderräder, so dass der Omnibus im Fahrbahntrog immer der Mittellinie folgt (**Bild B.15**). Der seitliche Überstand der Spurführungsrollen beträgt 50 mm, so dass sich hier eine

Gesamtbreite des Fahrzeugs von 2,60 m ergibt. In Deutschland ist gemäß StVZO hierfür eine Ausnahmegenehmigung erforderlich, die in Essen und in allen weiteren Anwendungsfällen des Spurbusses auch erteilt worden ist (EVAG 1995, S. 23).

Das Spurführungssystem weist einen hohen Sicherheitsstandard vergleichbar mit dem Rad/Schiene-System auf. Die Entgleisungssicherheit ist unabhängig von den Witterungsbedingungen. Selbst bei rutschenden Tragrädern verhindern die Leitborde, die dann als Notführung dienen, zuverlässig ein Abkommen des Fahrzeugs von der Fahrbahn. Weitere Erprobungen haben darüber hinaus gezeigt, dass auch ein ungleicher Kraftschluss, das Platzen eines Reifens (Innenlaufring als Rückfallebene) oder überfahrene Fremdkörper die Busse nicht von der vorgegebenen Fahrspur abbringen (Daimler-Benz/Züblin 1989, S. 5).

Um zwischen den beiden Betriebsarten des spurgeführten und handgelenkten Fahrens ohne störende Zwangsaufenthalte „fliegend“ zu wechseln, sind die Einfahrbereiche so gestaltet, dass der fahrende Omnibus zügig einseitig leicht mit der Gummiführungsrolle gegen das im Regelfall in Fahrtrichtung vorgezogene linke Leitbord lenken kann und der Omnibus erst dann den trichterförmig weggebogenen Anfang des zweiten Leitbordes passiert. Danach kann der Fahrer das Lenkrad freigeben. Bei Einfahrbereichen, die den fahrdynamischen Erfordernissen entsprechend gestaltet wurden, sind Einfahrtsgeschwindigkeiten von  $v \leq 40$  km/h möglich (Daimler-Benz/Züblin 1989, S. 6).

Eine durchgängige, aktive Spurregelung setzt einen unabhängigen Fahrwegkörper voraus. Bei einer Unterbrechung von weniger als sechs Metern fährt der Omnibus ohne Fahrereingriff von selbst ohne Richtungsänderung im Spurkanal weiter. Es ist daher beim Wiedereintritt in den Spurkanal nur eine verkürzte Aufweitung des Spurkanals erforderlich (EVAG 1995, S. 11). Querende Fußwege können demnach beispielsweise im Bereich der Haltestellen ohne weiteres angeordnet werden. Bei einem höhengleichen Kreuzen im öffentlichen Straßenraum an Knotenpunkten – in Innenstädten ist dies unvermeidlich – ist dagegen die mechanische Spurregelung wegen der aufragenden seitlichen Leitkanten bei querendem Verkehr nicht umsetzbar.

### B.3.3 Fahrzeugseitige Spurführungskomponenten

Bereits vorhandene Niederflur-Gelenkbusse können mit relativ geringem Aufwand durch einen Umbau mit den herstellereigenen Spurführungskomponenten nachgerüstet werden. Bei Neufahrzeugen ist die Spurführungseinrichtung bei einigen Herstellern als Sonderausstattung lieferbar.



Bild B.15: Vor den Vorderrädern sind beidseitig Führungsrollen angeordnet, die über Tastarme starr mit den Achsschenkeln und dadurch kinematisch mit dem Lenkungsgestänge verbunden sind.



Fahrzeugseitig sind nur wenige Komponenten für die mechanische Spurführung erforderlich. Die unmittelbar vor den Vorderrädern angeordneten horizontal ausgerichteten Spurführungsrollen sind mit einem Ta-starm verbunden, welcher die Lenkinformation auf einen modifizierten Achsschenkel überträgt (NIEMANN 1983, S. 311 und KLUGE u. a. 1984 S. 132).

Neben den Spurführungsrollen können an den weiteren Achsen des Fahrzeugs zusätzlich sogenannte Drängelrollen erforderlich werden, wenn dies die Trassierung (Radien, Überhöhung) und der Betriebsablauf (Geschwindigkeitsprofil) erforderlich machen. Diese Drängelrollen verhindern schleppkurven- und schräglaufbedingtes Berühren der Reifenflanken der hinteren Achsen mit den Leitborden (KLUGE 1988).

In Essen befinden sich jeweils im Haltestellenbereich der Spurbusstrecke im Mittelstreifen der A 40 die engsten Kurvenradien mit  $r = 120$  m, im Tunnelbereich ist ein engster Radius von  $r = 90$  m durchfahren worden. Noch engere Radien sind mit einer Aufweitung der inneren Leitbordführung möglich, was aber eine deutlich reduzierte Geschwindigkeit erfordert. Im Allgemeinen wird für eigene Trassen eine möglichst großzügige Trassierung angestrebt, um Zeitvorteile durch hohe Geschwindigkeiten zu erreichen (z. B. Expressbusway Adelaide). In diesen Fällen hat sich bei Mercedes-Benz die ausschließlich an den Vorderachsen angebrachte Spurführung bewährt.

### **B.3.4 Vor- und Nachteile der mechanischen Spurregelung**

Der spurgeführte Betrieb bietet folgende Vorteile:

- Zulässigkeit hoher Fahrgeschwindigkeiten bis 100 km/h im Begegnungsverkehr bei geringstem Platzanspruch und damit Steigerung der Leistungsfähigkeit des Omnibusbetriebs,
- den Kunden wird Sicherheitsgefühl auch bei hohen Geschwindigkeiten vermittelt,
- genaues Anfahren der Haltestellenplattformen auch bei einseitiger Spurführung,
- ansprechender Fahrkomfort unter der Bedingung einer hohen Fertigungs- und Verlegegenauigkeit,
- erwiesene, nahezu wartungsarme Lebensdauer des Fahrwegs aus Beton und dauerhaft ebene Beschaffenheit des Fahrwegs ohne Spurrinnenbildung selbst im Bereich der Haltestationen,



- reduzierte Geräusentwicklung des Fahrzeugbetriebs,
- Entlastung des Fahrzeugführers (Mercedes-Benz 1988).

Zu dem letzten Punkt der Auflistung der Vorteile bleibt noch ergänzend hinzuzufügen, dass sich der Fahrer durch die nicht ausgeführte Kurbelarbeit ungewohnt passiv verhält. Es ist nicht auszuschließen, dass der Fahrer beim Verlassen der Spurbusstrecke oder bei Einfahrt in eine Off-Line-Station nicht mehr in ausreichendem Maße konzentriert ist und die Wiederaufnahme der Kurbelarbeit im handgelenkten Bereich „vergisst“. So hat man beispielsweise in Adelaide die Konsequenz aus einzelnen betriebsgefährdenden Situationen gezogen und am Ende der spurgeführten Abschnitte geriffelte Markierungen zur Erzeugung von Vibrationen im Abrollbereich der Reifen angeordnet, um die volle Konzentration des Fahrers beim Verlassen der Spurbustrasse sicherzustellen.

Als nachteilig bei einem Spurbussystem wird häufig angesehen, dass eine Trasse mit seitlichen Führungskanten ohne Überholmöglichkeit zu betrieblichen Behinderungen führen kann. Was passiert, wenn ein Fahrzeug beispielsweise mit einem Achsbruch die Trasse blockiert? Eine ÖV-Trasse, die handgelenkt befahren wird, bietet hier die Möglichkeit, dass ein fahruntüchtiges Fahrzeug überholt wird. Die bisherigen Erfahrungswerte belegen aber, dass ein Fahrzeugschaden in den allerseltensten Fällen zu einer Blockade eines Spurbusabschnitts führt. Im Regelfall ist das defekte Fahrzeug zumindest abschleppfähig oder kann aus eigener Kraft die Spurbustrasse verlassen. Zu betonen ist, dass die Wahrscheinlichkeit solcher betrieblichen Unregelmäßigkeiten entscheidend von der Zuverlässigkeit des Fahrzeugs abhängt, wobei klar ist, dass diese insbesondere bei dem Großserienprodukt Omnibus auf allerhöchstem Niveau liegt.

Ein möglicherweise entscheidender Nachteil der Spurbusse bleibt aber bestehen: Im Stadtverkehr wird insbesondere in den staubelasteten Innenbereichen die Notwendigkeit einer durchlaufenden ÖPNV-Trasse zur Gewährleistung eines störungsfreien Betriebs gesehen, wobei aber eine mechanische Spurregelung im allgemeinen Straßenraum aufgrund der aufragenden Leitkante nicht in Frage kommt. Natürlich ist hier zu berücksichtigen, dass zu Zeiten der frühen Dual-Mode-Systementwicklung Mitte der siebziger Jahre ausschließlich unabhängige Fahrwege in Tieflage und eine evolutionäre Fahrzeugentwicklung fester Bestandteil der Überlegungen waren.

Trotzdem bleibt für Planungen auf Straßenniveau ein systemimmanenter Nachteil bestehen; eine Spurbustrasse kann immer nur genau dort eine abschnittsweise Einzelmaßnahme darstellen, wo querender Verkehr aufgrund einer aufgelösten Siedlungsstruktur nur eine untergeordnete Rolle

einnimmt und damit im Regelfall ohnehin genügend Verkehrsfläche für einen Betrieb mit Handlenkung zur Verfügung steht. Eine mechanische Spurregelung innerhalb eines innerstädtischen Nahverkehrssystems bleibt damit verzichtbar und auf klar definierte Einsatzbereiche, wo eine Schnellverbindung gewünscht wird, beschränkt.

## B.4 Mechanische Spurführung an einer Monoschiene

### B.4.1 Ausgangssituation

Bei einer mechanischen Spurführung wird eine in der Fahrbahnmitte verlegte Monoschiene verwendet. Der spurgetreue Nachlauf der Achsen wird über Führungsrollen selbsttätig geregelt und darüber hinaus bei Verlust des Kraftschlusses die Spur unmittelbar gesichert. Ähnlich wie die Rillenschiene bei der Straßenbahn schließt die Monoschiene mit der Fahrbanoberfläche des Straßenverkehrs bündig ab und stellt, anders als bei der mechanischen Spurregelung an Leitkanten, keine Einschränkung für querende Verkehrsteilnehmer dar.

Es gibt zwei anwendungsreife Entwicklungen mechanischer Spurführungen, die eine straßenbündige Monoschiene verwenden:

- Zum einen ist 1985 von der Waggonfabrik BN, Brügge, eine mechanische Spurführung an einer Monoschiene entwickelt und erstmalig vor dem Heyselgebäude in Brüssel auf einer 800 m langen Teststrecke während der UITP-Ausstellung vorgeführt worden. Der vierachsige Spur-Duobus, MLP (*Méto Léger sur Pneus*), machte insbesondere aufgrund lauter Fahrgeräusche und unzureichenden Fahrkomforts keinen guten Eindruck auf die Besucher. Erfahrungen mit dieser Spurführungstechnologie sind vor der Einführung im Jahr 2000 in Nancy u. a. mit zwei hochflurigen Doppelgelenk-Duobussen zwischen Jemelle und Rochefort (Belgien) auf einer eingleisigen, umgebauten Eisenbahntrasse gesammelt worden und mit der weiterentwickelten niederflurigen Version GLT/TVR (Guided Light Transit/Transport sur Voie Réservée) bei einem Fahrgastprobebetrieb auf der TVM in Paris (**Bild B.16**).
- Zum anderen arbeitete Lohr Industrie 1993 u. a. für Lausanne Angebote für einen Trolleybus mit einer Radanordnung im Gelenkrahmen aus. Parallel dazu wurden auf dem Gelände in Duppigheim in der Nähe von Straßburg Versuche mit einem Doppelgelenkfahrzeug unternommen, um einerseits die Wirkung eines neuen Führungssystems und andererseits die Wechselwirkung zwischen diesem System und der Lenkung eines Doppelgelenkstraßenfahrzeugs zu untersu-



Bild B.16: GLT/TVR beim Einfädeln



Bild B.17: Versuchsträger von Lohr Industrie



Bild B.18: Einfahrt des Prototypen in einen Gleisbogen mit einem Halbmesser von nur 10,50 m. Teststrecke des Translohr in Duppigheim.

chen (HONDIUS 2000, S. 12). Nachdem man ausführliche und erfolgreiche Tests mit einem weiteren Technologieträger gefahren hatte, entschloss man sich zum Bau eines Prototyps (**Bild B.17 u. B.18**).

## B.4.2 Einsatzziele eines Zweiwegefahrzeugs

Im Vergleich zum Rad/Schiene-System soll bei gummibereiften, mechanisch spurgeführten Fahrzeugen, die auch Abschnitte in Handlenkung befahren, eine wesentlich höhere Flexibilität gegeben sein (JAHN 1996, S. 25):

- Möglichkeit einer stufenweisen System Einführung,
- verminderte Störungsanfälligkeit bei Unfällen im Bereich der spurgeführten Trasse,
- Handlungsspielraum bei Umleitungen infolge von Bauarbeiten und
- einfache Änderung der Linienführung außerhalb der Stammstrecke.

Im Gegensatz zur mechanischen Spurregelung ist bei der mechanischen Spurführung in jedem Fall ein neues Fahrzeug zu konstruieren. Auf ein Serienfahrzeug kann nicht zurückgegriffen werden, weshalb die Kosten für ein solches Fahrzeug im Bereich einer günstigen Straßenbahn oder darüber liegen. Die Ersparnis bei einer mechanischen Spurführung im Dual-Mode-Betrieb liegt also darin, dass man eben nur so viele Kilometer Monoschiene baut, wie unbedingt notwendig.

Bedingung bei dieser Einführungsstrategie ist es aber auch, dass die größte Fahrzeuglänge entsprechend den Straßenverkehrszulassungsvorschriften im Bereich von 25 m zu liegen hat. Kupplungsfähigkeit für einen Betrieb mit einem hohen Personalwirkungsgrad wie bei der Straßenbahn ist damit ausgeschlossen. Straßenbahnähnliche Gefäßgrößen können nur bei einer permanenten Spurführung eingesetzt werden. Dies würde dann aber auch eine Zugbildung erlauben, sofern eine Rahmenstrukturfestigkeit von 200 kN nach der EN 12663 in Längsrichtung bei der Fahrzeugkonzeption (wie bei dem Translohr) berücksichtigt worden ist. Lohr Industrie verfolgt denn auch derzeit ausschließlich Einsatzplanungen mit permanenter Spurführung. Bombardier Transportation hält dagegen an einem Wechsel der Betriebsmodi fest.

### B.4.3 GLT/TVR: Führungsrollen mit beidseitigem Spurkranz

Der GLT/TVR verfügt über vier konventionelle Straßenfahrwerke. Für den spurgeführten Modus besitzen alle Achsen ein Führungsgestell mit jeweils einem vorderen und hinteren Rollenpaar. Die Führungsrollen werden an einer Monoschiene geführt (**Bild B.19 u. B.20**) und haben wie beispielsweise bei der Schwebbahn in Wuppertal einen beidseitigen Spurkranz. Trotz der mechanischen Querverführung ist bei dem GLT/TVR Kupplungsfähigkeit für einen Betrieb mit einem hohen Personalwirkungsgrad weder konstruktiv noch steuerungstechnisch berücksichtigt worden.

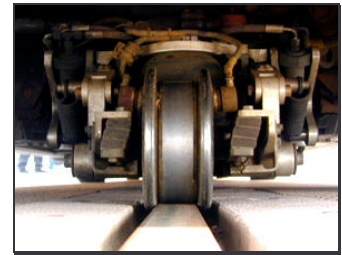


Bild B.19: Führungsrolle mit doppelseitigem Spurkranz beim GLT/TVR

Der GLT/TVR hat trotz kleinerer und größerer Nachbesserungsaktionen (u. a. verbessertes Fahrersichtfeld, Anpressdruck der Führungsrollen nach dem Federspeicherprinzip, wirksame Isolation gegen Feuchtigkeit der elektrischen Unterfluraggregate des Antriebsstrangs) insbesondere im Bereich der mechanischen Spurführung konzeptionelle Schwächen: zum einen wegen der Überwachung des Systemwechsels Handlenkung/Spurführung und zum anderen wegen der Formgestalt der Führungsrollen mit beidseitigem Spurkranz:

- In der Hauptsache stellt der Systemwechsel Handlenkung/Spurführung und umgekehrt aufgrund der Erfahrungen des Probebetriebs bei der RATP auf der TVM eine potentielle Gefahrenquelle dar und erfordert eine zuverlässige Überwachung. Sensoren müssen feststellen, ob alle Führungsgestelle ordnungsgemäß eingefädelt sind; beim Ausfädeln wiederum muss für den handgelenkten Betrieb sichergestellt werden, dass die Allradlenkung, deren mechanisches Anlenkgestänge im spurgeführten Modus freigeschaltet werden muss, wieder funktionsbereit ist. Unfälle in Nancy und Caen bereits im Fahrgastbetrieb offenbarten schwere Mängel in dem Sicherheitskonzept.
- Auch die Wahl von Führungsrollen mit beidseitigem Spurkranz bedingt einen technischen Mehraufwand. Einerseits wird so zwar ermöglicht, dass die Monoschiene an beliebiger Stelle der Trasse durch das Anheben der Führungsgestelle verlassen werden kann, andererseits müssen die vordere und hintere Führungsrolle je Achseinheit zur Erhöhung der Entgleisungssicherheit pneumatisch mit 7,5 kN (bei acht Führungsrollen also 60 kN pro Fahrzeug) vertikalem Anpressdruck belastet werden, damit sich die Führungsrollen sich nicht von der Monoschiene nach oben lösen oder herausgedrückt werden, wie dies auch im Fahrgastbetrieb in Nancy und Caen festgestellt werden musste. Der TVR/GLT ist dann ohne Führung. Erst im Laufe des Zulassungsverfahrens für Nancy wurde darüber hinaus bemängelt, dass der pneumatische Anpressdruck von der elektrischen Hilfsenergie abhängt, d. h. bei einem Ausfall der Elektrik wäre



Bild B.20: Die Asphaltbefestigung wird bis an den zunächst noch offenen Stahlrog der Monoschiene geführt. Da die Monoschiene austauschbar befestigt wird, kommen abnehmbare Formsteine zur Überdeckung der Schienenbefestigung zum Einsatz.

das Fahrzeug ohne Spurführung. Zur betriebssicheren Aufrechterhaltung des Anpressdrucks sind nachträglich an der Spurführung mechanische Sicherungsmechanismen (Federspeicherprinzip) installiert worden.

- Der vertikale Anpressdruck zieht aber wiederum einen erhöhten Verschleiß an Führungsrolle und Monoschiene nach sich; gleiches gilt für die horizontalen Seitenkräfte in Gleisbögen. In Nancy und Caen sind die Monoschienen demzufolge speziell gehärtet geliefert und dem zu erwartenden Verschleiß entsprechend austauschbar montiert. Auch der Einsatz keramischer Werkstoffe im Bereich der Kontaktflächen der Führungsrollen ist zur Verschleißreduzierung in Erwägung gezogen worden. Der vertikale Anpressdruck der Führungsrollen bewirkt außerdem eine Entlastung der beiden angetriebenen Achsen 1 und 4, was insbesondere in spurgeführten Steigungstrecken die Haftreibung der Pneus und damit die Traktionsfähigkeit verschlechtert.
- Ein grundsätzliches Problem ist darüber hinaus, dass leicht belastete, stählerne Räder bei hohen Drehzahlen dazu neigen, recht laut zu sein. Die Führungsrollen des GLT/TVR haben einen Durchmesser von 220 mm und drehen bei 70 km/h 1687 U/min, was der Drehzahl eines Hochgeschwindigkeitszugs bei 300 km/h entspricht (HONDIUS 1998, S. 66). Die Führungsrollen müssen nach Angaben von Bombardier Transportation alle 25.000 km ersetzt werden und stellen im neuprofilierten Zustand nach Optimierungsarbeiten nicht mehr die auffällige Innenraum-Lärmquelle dar wie noch bei den Vorserienfahrzeugen.
- Der Wechsel der Betriebsweise von der Handlenkung auf Spurführung ist im Gegensatz zur Essener Spurbustechnik nur bei Schrittgeschwindigkeit möglich. Die stählernen Führungsrollen lärmten trotz der mittlerweile verwendeten Gummimatten beim Absenken auf die Einfädelungsvorrichtung, die aus einer dreieckförmigen Stahlplatte mit in Richtung der Monoschiene angeordnete trichterförmige Verengung besteht (**Bild B.21**). Ein Ausfädeln ist durch das Anheben der Führungsgestelle an jeder beliebigen Stelle möglich.



**Bild B.21:** Ungenügende Planung in Nancy bei dieser Einfädelungsstelle unmittelbar hinter einer Kurve, direkt vor einer Haltestellenanfahrt. Nachträglich musste eine zweite Einfädelungsvorrichtungen eingebaut werden.

#### B.4.4 Translohr: V-förmig schräggestelltes Führungsrollenpaar

Lohr Industrie hat neben zwei Technologieträgern auch einen vierachsigen, dreiteiligen Prototypen gefertigt. Das Fahrzeug mit der Bezeichnung Translohr SE 3, für einen Fahrbetrieb in Handlenkung noch mit Lenkrad und elektrohydraulischer Anlenkung aller Achsen ausgestattet, befand sich ab November 2000 in Paris auf der TVM und ist dort bis März 2001 im Testbetrieb erprobt worden. Mittlerweile wird im Hause Lohr Industrie



auch bei kürzeren Fahrzeugeinheiten primär eine mechanische Spurführung über den gesamten Streckenverlauf verfolgt, da aufgrund zweier Studien unabhängiger französischer Sicherheitsingenieurbüros der technische Aufwand zur Bewerkstellung eines sicheren Betriebswechsels und die Komplexität des Fahrzeugs als unverhältnismäßig hoch eingestuft wird. Bei einem Einsatz in Deutschland würde bei der angestrebten permanenten mechanischen Spurführung, also einem Betrieb als Straßenbahn (auf Gummireifen), die BOStrab die gesetzliche Grundlage einer Zulassung darstellen.

Die Führungsrollen mit einem Durchmesser von 210 mm sind beim Translohr schräggestellt und umfassen beidseitig das Schienenprofil (**Bild B.22**). Bei der Entwicklung der Führungsrollen nahm man sich hinsichtlich des Lärmpegels von leicht belasteten Stahlrädern der allgemeinen Bedenken und bekannten Erprobungsergebnisse der Monoschienführung des GLT/TVR an und orientierte sich infolgedessen u. a. an kunststoffbandagierten Führungsrollen wie bei der O-Bahn-Technologie oder bei Seilbahnen. Die Führungsrollen werden hinsichtlich Materialzusammensetzung und Führungsvorrichtungen im Dauerversuch an einem Laufrad mit programmierbaren Fahrzyklen zur praxisnahen Streckensimulation erprobt. Nach derzeitigen Erkenntnissen zeigen die Führungsrollen mit Kunststoffbandage eine Lebensdauer von 60.000 km, was in etwa der jährlichen Kilometerleistung eines städtischen Nahverkehrsfahrzeugs entspricht. Die Kunststoffbandagen bedingen, dass bei der Verwendung eines einpoligen Fahrdrachts zur Stromrückführung ergänzend ein Schleifkontakt, der die Monoschiene bestreicht, unter dem Fahrzeugrahmen angebracht werden muss.

Bei einem Zweirichtungsbetrieb ist vor und hinter jeder Achse jeweils ein Dreieckrahmen angeordnet, welcher die Führungsrollen mit den Laufachsen verbindet. Nur der jeweils vorn laufende Dreieckrahmen wird horizontal verriegelt. Das nachlaufende Führungsrollenpaar kann sich frei bewegen. Über das jeweils vorn laufende Führungsrollenpaar kommt es durch das Abtasten der Monoschiene zu einem spurtreuen Nachlauf des folgenden Wagenkastens, zum Beispiel ähnlich einem nachlaufenden Wohnwagen (**Bild B.25**).

Das in Fahrtrichtung vordere Führungsrollenpaar des Dreieckrahmens wird in seiner Lage durch die Monoschiene bestimmt und erfüllt damit eine vergleichbare Aufgabe wie bei einem ziehenden Fahrzeug eines Wohnwagens der Kuppelpunkt. Bei einem Haftreibungsverlust wird durch mechanische Anschläge ein Quergleiten der Laufachse verhindert. Vertikales Spiel ist an allen Aufhängungen der Führungsrollen möglich. Die mechanische Anlenkung über die vorweglaufende Führungsrollenpaar bedingt nur geringe Seitenkräfte.

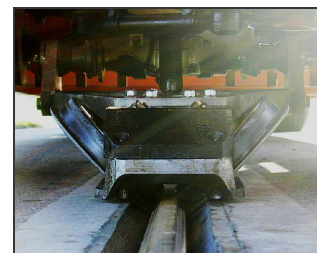


Bild B.22: Führungsrollenpaar des Versuchsträgers beim Translohr



Bild B.23: Bei einer Oberbauvariante kommt ein Stahltrug zur Anwendung, in den die Monoschiene nach dem Ausrichten verklebt wird. Anschließend werden Gummiprofile zur Verminderung der Spaltbreite eingelegt.



Bild B.24: Klassische Straßenbahn-Rillenschiene und Monoschiene (Profil Translohr) im Vergleich

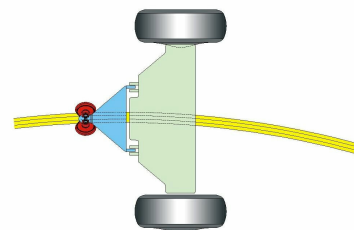


Bild B.25: Spurführungsprinzip beim Translohr (LOHR INDUSTRIE)

Die Entgleisungssicherheit durch Formschluss ist im Rahmen der französischen Zulassung auf der TVM im Auftrag des Ministeriums von zwei unabhängigen Ingenieurbüros untersucht und bestätigt worden. Es ist herauszustellen, dass bei einer gummibereiteten Straßenbahn der Formschluss zwischen dem kunststoffbandagierten Führungsrollenpaar und der Monoschiene lediglich das Anlenken der Achsen gewährleistet – Lastabtragung und Spurrhaltung bzw. Spursicherung sind entkoppelt. Durch die Gummibereitierung der Fahrwerke können keine verschleißintensiven Zwängungen wie bei Straßenbahnen in engen Gleisradien entstehen, so dass der Gummiabrieb an Pneus und Führungsrollen ähnlich wie bei der Spurbus-Technologie nach den bisherigen Erkenntnissen die einzige Verschleißform innerhalb des Führungssystems darstellt. Ferner kann, da ein Schienenaustausch nicht zu erwarten ist, die Monoschiene dauerhaft in dem mittigen Schienentrog mit einer elastischen Zweikomponenten-Masse verklebt werden, um so neben einer vollständigen Schwingungsunterdrückung auch vagabundierende Ströme bei der Fahrstromrückleitung sicher auszuschließen.

## B.5 Berührungsfreie Spurregelung

### B.5.1 Meilensteine

- In den Statusseminaren Nahverkehr wurde bereits seit 1975 über die berührungsfreie Spurregelung an einem Leitkabel bei Bussen berichtet. Waren es anfangs die Hersteller MAN und Bosch, so wurde in den folgenden Jahren auch von Daimler-Benz und Dornier berichtet. Im Jahre 1978 schließlich verkehrte auf der *Transport 78* in München ein spurgeregelter Technologieträger der Firma MAN auf einem Rundkurs mit hochgelegenen Haltestellen-Plattformen (JOCKUSCH, 1984, S. 88).
- Ab 1979 verkehrten in Halmstad (Schweden) im Fahrgastbetrieb acht Busse, die spurgeregelt an einem Leitkabel nahezu spaltfrei erhöhte Plattformen (510 mm) ansteuerten. Die Querführungs-Ausrüstung ist bald wieder ausgebaut worden, da die Fahrer der Meinung waren, dass ein solches Regelungssystem nur für den Haltestellenbereich nicht erforderlich sei (MAN 1984, S. 6).
- In den Jahren 1984/85 fand in Fürth ein vom Bundesforschungsministerium geförderter Demonstrationsbetrieb statt. In dieser Zeit wurden bis zu drei Busse der Hersteller MAN und Daimler-Benz in Fürth eingesetzt. Der Betrieb endete planmäßig, da der Busverkehr insgesamt auf der Demonstrationsstrecke infolge der parallel verlängerten U-Bahn eingestellt wurde. Der angestrebte Referenzbetrieb erfolgte nicht (**Bild B.26**).
- Das Daimler-Benz-Funktionsprinzip, damals von Cégélec AEG Systems vertrieben, ist schließlich bei den Service-Fahrzeugen in der Wartungsröhre des im Jahre 1993 eröffneten Eurotunnel zum Einsatz gekommen. Die Fahrzeuge werden im engen Raumprofil der Wartungsröhre mit nur zehn Zentimetern Abstand untereinander im Begegnungsverkehr betrieben. Störungen des Servicebetriebs sind nicht bekannt (**Bild B.27**).
- Auf der 600 m langen Teststrecke Quayside in Newcastle-upon-Tyne (Großbritannien) verkehrten Mitte des Jahres 1996 Busse aus der



Bild B. 26: Definierte Sollspur über ein in der Fahrbahndecke eingelassenen Leitdraht. Die Technik erhielt in Fürth nie eine allgemeine Zulassung. (BURMEISTER)



Bild B.27: Servicefahrzeuge spurgeregelt im Eurotunnel (CÉGÉLEC)



Bild B.28: Gut zu erkennen sind die Frässpuren der eingelassenen Leitdrähte beim System ELTRAC. (CÉGÉLEC)

Serienfertigung, die für die Spurregelung an einem Leitkabel aufgerüstet worden sind (Cégélec 1997, **Bild B.28**). Das Nachfolgeprojekt Merseyside Rapid Transit in Liverpool ist nicht zur Ausführung gekommen. Es wurde aber beim Bau des Millennium Dome ein hochwertiger Shuttle-Express auf einer besonderen ÖV-Trasse auf der Verbindung M1 North Greenwich - Charlton projektiert. Der gesamte Fahrweg wurde in Vorbereitung auf eine mögliche Aufwertung im Rahmen des Waterfront Transit - Projektes (Greenwich Waterfront Transit, GWT) bereits straßenbahnmäßig trassiert. Die Haltestationen sind mit einer Plattformhöhe von 300 mm ausgestattet. Der Fahrgastbetrieb mit dem induktiven Leitsystem wurde aber nach zahlreichen Tests nicht aufgenommen (CHARD 2001, S. 251). Erprobt wurde die seinerzeit von der Daimler-Benz und AEG gemeinsam entwickelte Spurregelungs-Technik, die von dem französischen Konzern Alstom unter dem Namen ELTRAC (Electronically Track Guided Vehicle) vertrieben wird (**Bild B.29**).



Bild B.29: Millennium Transit in London – auf dem 1,3 km langen Busway der Linie M1 wird letztlich auf eine elektronische Spurregelung verzichtet. (TfL)

- Bei Neoplan ist eine induktive Spurregelungstechnik beispielsweise in der Fahrzeugreihe N 6141 vorgesehen. Die verkürzte Einfachgelenk-Ausführung dieses in Lausanne im Linienbetrieb eingesetzten Fahrzeugs ist optional automatisch querführungstauglich. Eine Anwendung im Fahrgastbetrieb hat bisher noch nicht stattgefunden.
- Ein optisches Leitsystem wird seit 1997 von Irisbus (Iveco Gruppe), in enger Zusammenarbeit mit Matra Transport (Tochtergesellschaft von Siemens) auf einer Versuchsstrecke von 1300 m Länge nahe Lyon getestet und ist Bestandteil des Civis-Fahrzeugkonzeptes. Es erfolgten bisher Fahrgastprobefahrten in Clermont-Ferrand (Ligne Expérimentale, Léo) und Rouen (Transports Est-Ouest de l'Agglomération Rouennaise, TEOR). Die Aufnahme des Linienverkehrs ist in Vorbereitung. In Las Vegas (2003, Boulevard North) und Berlin (2005, Heerstraße) soll der Civis ebenfalls optisch spurgeregt eingesetzt werden.
- Der Zweckverband der Region Eindhoven (Samenwerkingsverband Regio Eindhoven, SRE) hat den Beschluss gefasst, eine 15 km lange HOV (Hoogwaardig Openbaar Vervoer) - Demonstrationslinie zu bauen. Die eingesetzten Fahrzeuge von APTS/Berkhof mit der Bezeichnung Phileas, u. a. auch ein Doppelgelenkbus, werden auf einer ÖPNV-Trasse über eine elektronische Wegkarte, die bordautonom abgespeichert ist, in Kombination mit einem Odometrie-basiertem Leitsystem spurgeregt werden. Im Jahre 2003 soll der Betrieb starten.

## B.5.2 Zielsetzung der berührungsfreien Spurregelung

Nach Abschluss des Demonstrationsbetriebs in Fürth (Spurregelungssysteme der Fahrzeughersteller MAN und Mercedes-Benz) stellt das Stadtentwicklungsamt der Stadt Fürth hinsichtlich einer elektronischen Spurregelung fest, dass eine Verbesserung der verkehrlichen und städtebaulichen Verhältnisse insbesondere bei folgenden Problemzonen möglich ist (SNV 1985, S. 81):

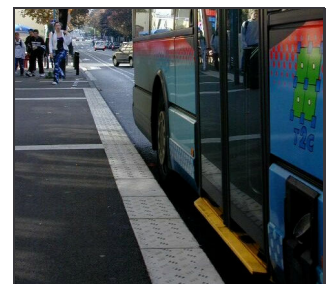
- Durchfahrt enger Straßen und enger Kurven,
- Passieren von Fußgängerzonen,
- Befahren enger Haltestellenbereiche.

Als Ziele im öffentlichen Nahverkehr werden auch Jahre später mit der millimetergenauen Anfahrt einer Halteposition (Spaltbreite < 75 mm und Stufe  $\pm 50$  mm, in Anlehnung an die Rail Vehicle Accessibility Regulations) und dem zügigen Befahren schwieriger Routen in engen Straßenräumen ausschließlich Sonderfälle formuliert (TfL/Cégélec 1997).

Der Fahrzeughersteller Neoplan sieht Vorteile einer berührungsfreien Spurregelung darin, dass ein genaues Anfahren von Haltestellen verwirklicht werden kann, ein geringerer Platzbedarf bei Tunnelpassagen möglich ist, zudem sind automatisierte Abläufe in den Betriebshöfen (Waschanlagen) denkbar (WILDHAGEN 1999, S. 19).

Bei dem Projekt Phileas wird angegeben, dass die Fahrbahnbreite auch bei hohen Geschwindigkeiten reduziert werden kann, die Infrastruktur insgesamt kostengünstiger ist, ein Mischbetrieb auch mit handgelenkten Fahrzeugen möglich ist. Darüber hinaus wird auf die Möglichkeit hingewiesen, Fahrzeuge über eine „elektronische Deichsel“ zu kuppeln.

Als Hauptziel der Spurregelung an einer Farblinie der Bauart Civis wird angegeben, die Spaltbreite zwischen Bürgersteig und Fahrzeug auf ein Minimum zu reduzieren (ca. 50 mm), um den Einstieg zu optimieren (**Bild B.30**). Zwei weitere Ziele werden angegeben: Zum einen soll eine Reduzierung der Seitenbeschleunigung mit Hilfe einer „virtuellen Schiene“, hier eine Bodenmarkierung, schon bei der Einmessung durch eine Abfolge optimierter Trassierungselemente berücksichtigt werden. Die nur allmähliche Zunahme der Seitenbeschleunigung bei der Anfahrt in einen Kreisbogen beruht hierbei allerdings auf der Möglichkeit, überhaupt einen Fahrweg trassierungstechnisch neu anlegen zu können. Mittels Handlenkung wäre es jedem Fahrer ebenso möglich, einer allmählichen Krümmungszunahme durch eine mit konstanter Drehgeschwindigkeit ausgeführte Kurbelbewegung ohne Einschränkung des Fahrkomforts zu begegnen. Zum anderen wird eine Verminderung der Breite des öffentlichen Verkehrsraums angestrebt, was tatsächlich ohne passive Nothilfsführung nur für Geschwindigkeiten bis zu 30 km/h möglich sein dürfte.



**Bild B.30:** Nahezu spaltfreier Einstieg bei einem spurgeregelten Gelenkbus (Irisbus, Agora) in Clermont-Ferrand



### B.5.3 Induktive, optische und Odometrie-basierte Leitsysteme

Bei der berührungsfreien Spurregelung werden bei allen Leitsystemen über eine streckenseitige Infrastruktur Leitinformationen ausgestrahlt, die über eine Lenksignalsensorik am Fahrzeug empfangen werden. Mikroprozessoren im Fahrzeug werten diese aus und übertragen sie an eine im Fahrzeug befindliche Lenkhydraulik.

Im Gegensatz zu der induktiven Streckenerfassung wird bei einer optischen Streckenerfassung anstatt einer Aufnehmerspule eine Kamera sowie anstatt eines Leitkabels eine doppelte Farblinie verwendet. Bei dem Odometrie-basierten Leitsystem wird auf eine elektronische Wegkarte – ergänzt durch ortsfeste Detektoren – zurückgegriffen.

Im weiteren Verlauf der Überlegungen werden die berührungsfreien Spurregelungen insbesondere im Bereich der Sicherheitsaspekte gemeinsam betrachtet. Es sind folgende Aspekte ergänzend zu beachten:

- Bei der Spurregelung an einem Leitkabel werden Leitinformationen unmittelbar unter der Vorderachse im Bereich des angebrachten Sensors empfangen. Demgegenüber erfasst die optische Streckenerfassung die vor dem Fahrzeug liegenden Bodenmarkierungen, und es kann die erforderlichen Fahrtrichtungsänderungen vorab erfassen. Bei der Odometrie-basierten Streckenerfassung ist der Fahrweg bereits auf Abruf gespeichert. Es erfolgen allerdings punktuelle „Driftkorrekturen“. Dem Vernehmen nach sind aber bei den drei Erfassungstechnologien keine Unterschiede hinsichtlich des Fahrkomforts festzustellen.
- Bei der induktiven Spurregelung kann das in der Fahrbahn verlegte Leitkabel grundsätzlich auch für weitere Aufgaben genutzt werden, wie dies analog z. B. bei der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) über einen kontinuierlichen Austausch von Informationen zwischen der Strecke und dem Fahrzeug realisiert ist. Aufgabenbereiche wie zum Beispiel dynamische Fahrgastinformation, Lichtsignalbeeinflussung, Übertragung von Fahrzeugzustandsdaten etc. werden allerdings heutzutage mittels Mobilfunktechnik bzw. Satellitenortungsverfahren infrastrukturarm umgesetzt.
- Bei einem induktiven und optischen Leitsystem muss die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass der Leitsignalträger ausfällt (z. B. Senderausfall beim Leitkabel; Schneefall bei der Kameraerfassung). Bei einem Odometrie-basierten Leitsystem werden dagegen eigenständige Permanentmagneten verwendet, die überdies auch nur als ergänzendes Referenzsystem der bordseitigen elektronischen Wegkarte dienen.



- **Induktive Leitsysteme**

Bei dem in Fürth verwendeten Spurregelungssystem bestand die streckenseitige Ausrüstung im Wesentlichen aus einem in der Deckschicht verlegten Kabel, das durch sogenannte Leitkabelsender gespeist wird, die zwei unterschiedliche Frequenzen erzeugen. Auf diese Weise entsteht um das Kabel ein konzentrisches elektromagnetisches Feld. Fahrzeugseitig wird dieses elektromagnetische Feld durch eine Antenne aufgenommen, durch die Fahrzeugelektronik im Soll-/Ist-Vergleich ausgewertet und mit dem ausgewerteten Signal die Lenkhydraulik angesteuert (JOCKUSCH, 1984, S. 88). Die Funktionsfähigkeit des induktiven Leitsystems konnte nachgewiesen werden. Bemängelt wurde, dass eine genaue Einmessung des Leitkabels in Kurvenbereichen und das daran anschließende Spurfürasen äußerst personalaufwändig ist (SNV 1986, S. 32).

Bei den aktuellen Spurregelungsvarianten, beispielsweise in der Wartungsröhre des im Jahre 1993 eröffneten Eurotunnels oder dem Testbetrieb Millennium Transit in London, beruht die Markierung des Sollkurses auf einem in die Fahrbahnoberfläche verlegten, paarigen Leitkabel. Bei dem Testbetrieb Millennium Transit ist bemängelt worden, dass die Leitkabel anfällig bei Arbeiten an der ÖV-Trasse sind, Untergrundsetzungen zu Lageveränderungen der Leiterschleifen führen sowie unebene Fahrbahnoberflächen im Haltestellenbereich eine spurgeregelte, spaltfreie Anfahrt erschwert. Diese Mängel beruhen aber in erster Linie auf einen mangelhaften Oberbau der Verkehrsflächenbefestigung, d. h. es kann hier nicht von einem systemimmanenten Mangel der Spurregelung gesprochen werden. Insgesamt kam man bei Transport for London (TfL) zu dem Schluss, dass die Spurregelungs-Technologie bei geringen Geschwindigkeiten durchaus einsatzfähig ist, darüber hinaus aber die Testphase Mängel offenbarte, die einen Fahrgastbetrieb ohne weiterreichende Maßnahmen ausschließen.

Der Fahrzeughersteller Neoplan benutzt als streckenseitige Infrastruktur ebenfalls zwei parallele Leitkabel (Leiterschleifen), die in die Fahrbahn-decke in 20 bis 30 mm Tiefe eingefräst verlegt werden. Im Betrieb wird mit Wechselstrom ein präzises Magnetfeld zur Spurerkennung aufgebaut. Versorgt wird dieser Leitdraht alle 1500 m, d. h. entsprechend einer Leitdrahtlänge von 3000 m, durch eine Frequenzerzeugereinheit, an der acht verschiedene Frequenzen im Bereich von 5 - 25 kHz ausgewählt werden können. So ist es möglich, mehrere Leitdrähte exakt überdeckend zu verlegen, um mehrere Kurse durch linienspezifische Frequenzen zu realisieren (VDV 1999, S. 230).

- **Optisches Leitsystem**



**Bild B.31:** Fahrbahnmarkierung beim optischen Leitsystem, Beispiel Rouen

Die Entwicklung des optischen Erkennungssystems Visée von Matra Transport geht auf Untersuchungen bis in das Jahr 1994 zurück, wenn gleich ursprünglich ausschließlich die Zugänglichkeit der Fahrzeuge an einer Haltestelle im Vordergrund stand.

Streckenseitig werden Bodenmarkierungen verwendet, die sich aus zwei parallelen, gestrichelten Linien zusammensetzen. Die weißen Linien bestehen aus Längsstreifen von 50 x 10 cm, die in Längsrichtung im Abstand von 50 cm und in Querrichtung im Abstand von 25 cm mit normaler zugelassener Straßenfarbe aufgebracht werden können (**Bild B.31**).



**Bild B.32:** Fahrer Arbeitsplatz des Civis mit den Funktionsanzeigen, man beachte die Kamera zur Streckenerfassung vor der Frontscheibe. (RENAULT V.I.)

Die Kamera der optischen Spurführung, auf einer mittigen Traverse reflexionsfrei unmittelbar hinter der Frontscheibe in etwa 1,50 m Höhe über der Fahrbanoberfläche angeordnet, erfasst die gestrichelten Linien, die vom Bordcomputer, der die Vorderachsen steuert, analysiert werden. Die Kamera untersucht ständig ein Gesichtsfeld, das 0,50 m vor dem Fahrzeug beginnt und sich rund 20 m voraus erstreckt (**Bild B.32**). Die Kamera nimmt eine Gesamtmenge von Motiven auf, die zuerst wiedererkannt und für gültig erklärt werden müssen, bevor sie weiter ausgewertet werden. Die Abmessungen eines jeden Rechtecks müssen einer Toleranzprüfung standhalten. Wenn die Abmessungen mehr als 10% von der Form der Regelmarkierung abweichen, werden sie vom System verworfen. Der Rechner beschränkt die weitere Auswertung nur auf die erfassten Motive, die für gültig befunden wurden.

Fahrwegbezogene Einflüsse wie Kontraste zwischen Schatten und Sonneneinstrahlung, Lichtreflexe bei Regen, Schneefall, Dunkelheit, Farbwahl der Regelmarkierung, sonstige Fahrbahnmarkierungen (hier insbesondere Leitlinien, aber auch Doppellinien, Sperrflächen etc.) oder das Vorhandensein eines anderen Fahrzeugs vor der Kamera sollen das Erfassungssystem nicht beeinträchtigen. Dem Vernehmen nach funktioniert das System auch, wenn bis zu 30% der Streifen abgedeckt sind.

Zwei mögliche Fälle können während des Auswertungsvorgangs der optischen Streckenerfassung auftreten: Entweder hat der Rechner genügend Messpunkte zur Verfügung, um die Linienführung rekonstruieren zu können, oder er stellt fest, dass die Anzahl der gültigen Motive unzureichend ist und er gezwungen ist, dem Fahrzeugführer „das Steuer zu überlassen“. Der Fahrer hat sich folglich in ständiger Bereitschaft zu finden. Beachtenswert ist an dieser Stelle auch die Meinung der Fahrer in Clermont-Ferrand, wo die Inbetriebnahme des Leitsystems für den Linienverkehr erfolgt: *Keine Entlastung, sondern zusätzliche Verantwortung!* Dies bedeutet aber nicht, dass die Fahrer den Lenk-Assistenten grundsätzlich ablehnen.

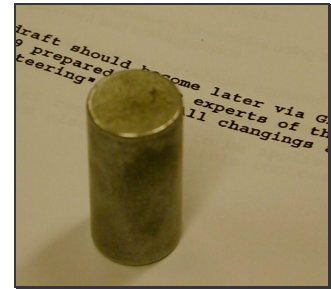
- **Odometrie-basiertes Leitsystem**

Bei dem Phileas-Projekt kommt ein an der Technischen Universität Eindhoven anwendungsreif entwickeltes magnetisches Referenzsystem zum Einsatz. FROG (Free Ranging On Grid) Navigation Systems ist verantwortlich für die Realisierung des Spurregelungssystems in Eindhoven.

Das Odometrie-basierte Erkennungssystem umfaßt zwei Elemente: Odometrie und Kontrollpeilung. Zunächst verfügt jedes Fahrzeug bordautonom über eine elektronische Karte der Umgebung, in der gefahren werden soll. Im Linienbetrieb ist das Grundsatzmerkmal von Nutzen, dass sich die Fahrzeuge auf „bekanntem“ definierten Fahrstreifen bewegen, die sie in der Regel nicht verlassen. Mit derzeitiger Computer-Leistungsfähigkeit werden die zurückgelegten Fahrabschnitte vollautomatisch analysiert und die Abfolge der Lenkbefehle aus einer Memory-Datenbank abgerufen. Parallel werden bei einer Fahrt die zurückgelegte Entfernung und die Geschwindigkeit durch das Zählen der Anzahl der Radumdrehungen (Odometrie) kontrolliert. Auch Richtungsänderungen werden vom Fahrzeug erfasst.

Die Odometrie ist eine relative Positionsbestimmung. Die neue Position wird dabei aus einer vorher bekannten Position plus zurückgelegter Wegstrecke errechnet. Es werden Signalgeber an den Rädern verwendet, um den zurückgelegten Weg des Fahrzeugs messen zu können. Die Odometrie liefert bei der Wegstreckenerfassung auf kurzen Distanzen sehr genaue Ergebnisse. Allerdings entstehen auch Fehler, die mit zunehmender Entfernung wachsen. Die Räder können rutschen (Schlupf), unterschiedliche Durchmesser haben (Reifenluftdruck), oder es können durch unebene Fahrbahndecken falsche Entfernungen gemessen werden (DER, PANTZER 2000, S. 2).

Bei dem Phileas-Projekt werden deshalb für die Verifizierung der Fahrzeugposition als magnetisches „Referenzsystem“ Permanentmagneten genutzt, die in der Fahrbahndecke verklebt werden (**Bild B.33**). Die Position dieser Detektoren ist in der Steuerung gespeichert und Bestandteil der elektronischen Karte. Mehrere voneinander unabhängige Magnetensorenbänder sind quer zur Wagenkastenbreite unter dem Fahrzeug angebracht und erkennen die genaue Lage der induktiven Positionsmarker über deren Magnetfeld. Durch Registrierung der Permanentmagneten innerhalb der definierten Linienstrecke wird der genau eingemessene Detektorstandort und damit die betreffende Fahrzeugposition bis auf 20 mm genau erkannt (Kontrollpeilung) und der aktuelle Meßfehler erkannt. Die Permanentmagneten werden rund alle vier Meter benötigt. Zur Anwendung soll darüber hinaus zu einem späteren Zeitpunkt ein Echtzeit-Lernverfahren zur Fehlerbegrenzung kommen.



**Bild B.33:** Alle vier Meter werden solche Permanentmagneten in die Fahrbahndecke als Detektor eingelassen und verklebt.

## B.5.4 Regelprozess

Bei allen Leitsystemen verarbeiten Mikroprozessoren im Fahrzeug Informationen über die erfassten Streckendaten, Distanzentfernung und die momentane Geschwindigkeit in ständiger Folge. Nach der Umformung in Lenkbefehle wird eine Hydraulikeinheit, bestehend aus Pumpe, Regelventil und Lenkzylinder, an den jeweiligen lenkbaren Achsen angesteuert, um das Fahrzeug in der Spur zu halten (**Abbildung B.1**).

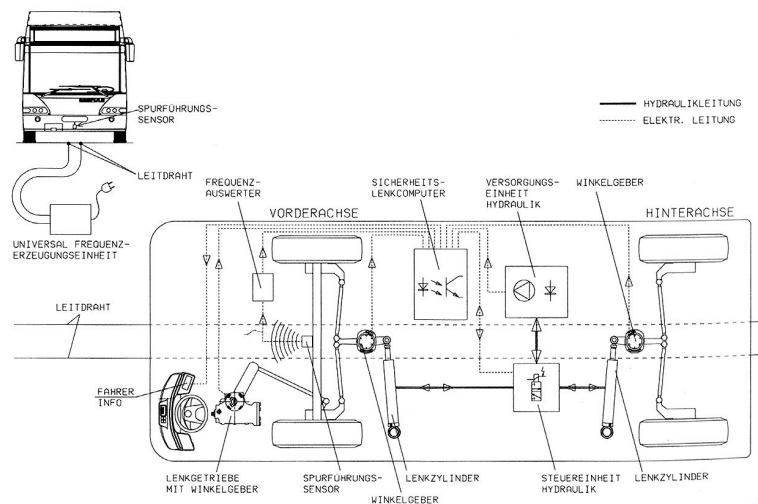


Abbildung B.1: Elektronische Spurregelung an einem Leitdrahtpaar (NEOPLAN)

Neben den induktiven, optischen und Odometrie-basierten Leitsystemen zur Streckenrekonstruktion sind darüber hinaus eine Vielzahl von Messwertgebern über einen spurgeregelten Omnibus zu verteilen. In Echtzeit wird eine bestimmte Anzahl von fahrzeugbezogenen Parametern, wie z. B. der Drehwinkel des Steuerrades, Gier-, Nick- und Wankbewegungen etc. erfasst. Diese Daten werden unter Bezugnahme mathematischer Rechenschemata über das dynamische Verhalten ausgewertet und als Lenkbefehle dem elektrischen Steuerungsmotor, der die Vorderräder an Stelle des Fahrzeugführers lenkt, übertragen. Die Nachmodellierung des dynamischen Verhaltens hängt auch von den spezifischen Merkmalen des jeweiligen Einzelfahrzeugs ab und bedarf einer korrektiven Inbetriebnahme. Im Gegensatz zu der automatisierten Spurregelung reagiert der handlenkende Fahrzeugführer instinktiv aufgrund seiner Erfahrungswerte und seiner Kenntnisse über die Lenkeigenschaften des Fahrzeugs.

Die ausgereifte Entwicklung des Regelungsprozesses genügt im Ergebnis mittels Dämpferelementen bereits den Ansprüchen eines hohen Fahrkomforts, und die elektro-hydraulischen Lenkbewegungen werden ruckfrei ausgeführt. Die praktisch umsetzbare Ablaufgeschwindigkeit des Regel- und Steuerungsprozesses ist deutlich höher als die aus Komfortgründen einzuhaltende Geschwindigkeit in einem Kreisbogen. Die aufgezeichnete Abweichung variiert über der Länge eines Kreisbogens bei allen Systemen nur zwischen 50 und 60 mm.

### B.5.5 Deaktivierung der Spurregelung im Gefahrenmoment

Der Fahrer kann bei allen Leitsystemen jederzeit durch Übersteuern die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen und auf konventionelle Weise handgelenkt weiter steuern. Ein ruckartiges Bewegen des Lenkrads bei dem Versuch, einem Hindernis auszuweichen, hat das Abschalten der Spurregelung zur Folge, begleitet von einem akustischen Signal. Allgemein war bei ersten Technologieträgern mit einer berührungsfreien Spurregelung hierzu das Drücken eines Notschalters notwendig. Nach dem Umfahren des Hindernisses und der handgelenkten Rückpositionierung über der Sollspur kann nach Betätigen eines Sicherheitsschalters die Spurregelung reaktiviert werden. Bei allen berührungsfreien Spurregelungen ist dies an beliebiger Stelle denkbar. Eine Geradeausfahrt erscheint aber hierbei zweckmäßig.

Es wurden zahlreiche Versuche beispielsweise von Matra Transport sowie Alstom durchgeführt, um die Reaktionszeit des Fahrers im Falle eines Versagens der optischen Spurführung auszuwerten. Der Ausfall des Leitsystems wird durch das Aufleuchten einer Kontrolllampe und einer leichten Vibration im Steuerrad begleitet, um den Fahrer zu warnen, dass die Spurregelung deaktiviert wird. Nach Angaben von Matra Transport zeigte sich, dass der Fahrer sein Verhalten ganz von selbst dem möglichen Risiko anpasst. So steht bei einem Ausfall der Spurführung für ihn auf freier Strecke der Fahrkomfort der Fahrgäste im Vordergrund, indem er sein Fahrzeug ruhig immer wieder auf die ideale Bahn zurückbringt, ohne das Lenkrad ruckartig zu bewegen, während er, wenn er auf verengter Fahrbahn ohne Sicherheitsabstand fährt, unmittelbar reagiert, um das Fahrzeug „abzufangen“.

Alstom hat die maximale Reaktionszeit des Fahrers bis zum Abfangen des Fahrzeuges auf 2 sec festgelegt. Alstom lässt hierbei allerdings offen, ob diese Reaktionszeit und ein situationsbezogen richtiges Verhalten bei allen Fahrern auch bei einer sich einstellenden Alltagsroutine erwartet werden kann.

Bei dem Phileas-Projekt setzt man auf eine simulatorgestützte Auswertung des Fahrerverhaltens während Fahrten mit aktivierter Spurregelung. In Zusammenarbeit mit der Universität Groningen wird hierzu ein Fahr- und Verkehrssimulator verwendet, d. h. es wird ein sogenannter interaktiver Verkehr simuliert, der Teilnehmer des Individualverkehrs repräsentiert. Der Fahr- und Verkehrssimulator soll neben zu trainierenden Bedienhandlungen bei betriebsgefährdenden Situationen auch zur Aus- und Weiterbildung der Fahrer verwendet werden.

### B.5.6 Sicherheitsaspekte

Die nach dem heutigen Kenntnisstand bei berührungsfreien Spurregelungen auftretenden Fehler und Störungen von außen und innen werden erkannt. Im Rahmen der Selbst-Überwachung des Systems führt dies zu Korrekturen oder bei Überschreiten der vorgegebenen Toleranzbreite nach vorherigen Warnungen des Fahrzeugführers zum Abschalten der Automatik. Dennoch wird vorrangig zu untersuchen sein, wie eine Fehlerentdeckungszeit bei eingeschalteter Spurregelung gegen Null sichergestellt werden kann sowie ein Systemausfall gerade im Falle des Betriebswechsels folgenlos bleibt bzw. wie eine erneute Inbetriebnahme nach einem Systemausfall abzulaufen hat.

Um eine schnelle Reaktion des Fahrers bei einer Fehlererkennung oder einer betriebsgefährdenden Situation überhaupt zu gewährleisten, wird eine Dienstanweisung vorgeben müssen, dass der Fahrzeugführer bei aktivierter berührungsfreier Spurregelung die Hände griffbereit am Lenkrad zu belassen hat. Eine gründliche Fahrerausbildung mit Störfalltraining und Reaktionstest, sowie praxisbezogene Nachschulung und Weiterbildung sind geboten.

Bei schmieriger Fahrbahn, bei Glatteis und Schneefall ist die Spurführung auszuschalten, da berücksichtigt werden muss, dass bei Überschreitung der zulässigen Reibwerte zwischen den Reifen und der Fahrbahn in jedem Fall eine unsichere Fahrsituation, anders als bei der mechanischen Spurführung oder -regelung, entsteht. Grundsätzlich gilt: Die Verantwortung für das Fahrzeug liegt beim Fahrer. Im Zweifelsfall ist die Spurregelung auszuschalten, um den Sicherheitsansprüchen zu genügen. Folglich ist es unumgänglich, die Fahrwegbreite derart zu bemessen, dass eine Trasse für einen spurgeregelten Betrieb auch handgelenkt befahren werden kann, wenngleich hierbei eine verminderte Fahrgeschwindigkeit angesetzt werden könnte.

Die Ermittlungen des lichten Raumbedarfs bei eingeschalteter Spurregelung beinhalten die üblicherweise konstruktiv oder betrieblich vorgegebenen Spiele und Verschleiß, Baulinien sowie Unstetigkeiten beim Lauf des Fahrzeugs (Windkräfte etc.) zuzüglich einer Toleranzbreite zu beiden Seiten zur Ausregelung festgestellter Spurabweichungen. Ausgeführte Fahrversuche zur Bestimmung einer Toleranzbreite schließen das Überfahren von kleinen Hindernissen, den Ausfall einer Radbremse an der Vorderachse, eine Vollbremsung bei ungleichem Reifenluftdruck sowie Vollbremsungen mit ungleichem Reibbeiwert oder plötzlichem Luftverlust in einem Reifen der Vorderachse mit ein. So wurde bereits 1985 im Rahmen der begleitenden Untersuchungen zum Demonstrationsbetrieb „Elektronische Spurführung in Fürth“ festgestellt, dass bei allen oben aufgeführten Fahrversuchen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h eine vorgegebene Toleranzbreite von 150 mm nach jeder Seite als ausreichend angesehen werden kann (SNV 1985, Anlage 2, Blatt 4).



Zusätzlich ist für den Fall des plötzlichen Verlustes der Haftreibung bzw. eines plötzlichen technischen Ausfalls ein profilüberschneidungsfreier Sicherheitsabstand zu definieren, damit dem Fahrzeugführer hinreichend Reaktionszeit verbleibt, um das Fahrzeug ohne Betriebsgefährdung per Hand sicher auf die Sollspur innerhalb des lichten Raumes zurückzulenken. Der Sicherheitsabstand wäre ab einer Geschwindigkeit  $v > 30$  km/h auf der freien, geraden Strecke stetig zu vergrößern. Insbesondere in einem gekrümmten Trassierungselement bei Fahrt im Innenbogen führt ein technischer Ausfall ohne bauliche Nothilfsführung zu einer betriebsgefährdenden Situation, da das Lichtraumprofil der äußeren Spur ohne sofortiges Eingreifen des Fahrers berührt oder gar gekreuzt wird.

Bei dem Testbetrieb Millenium Transit wurde von der zuständigen Abnahmebehörde, Her Majesty's Railway Inspectorate (HMRI), die prinzipielle Eingreifmöglichkeit des Fahrers in einer betriebsgefährdenden Situation als eher gering abgeschätzt. Folglich ist dort die fahrzeugseitige Ausrüstung als Eisenbahn-ähnliche Spurführung eingestuft worden, welches zum einen eine aufwändige kilometrierungsbezogene Sicherheitsanalyse für den Fall eines Systemversagens in Abhängigkeit der Trassierungsabfolge sowie zum anderen eine Leitkante als mittige Fahrspurabgrenzung der Richtungsfahrbahnen erforderlich machte.

Unter Berücksichtigung möglichen Beeinflussungen (Fahrzeugumrisslinie, Toleranzbreite und geschwindigkeitsabhängiger Sicherheitszuschlag) kommt es demzufolge bei einer berührungsfreien Spurregelung auf freier Strecke nicht zu einer signifikanten Einsparung der Verkehrsfläche, sofern eine Degradierung des Regelungssystems mit einbezogen werden wird. Im Gegenteil, es ist damit zu rechnen, dass der Flächenbedarf mit Zunahme der Geschwindigkeit sogar den Bedarf der Handlenkung übersteigt. Ein sehr kostenintensiver Lösungsansatz, der dennoch eine Einsparung von Verkehrsfläche ermöglichen könnte, wäre das Vorhalten einer dreifach redundanten Fahrzeugausrüstung. Damit könnte zumindest ein technischer Ausfall der bordseitigen Spurregelung nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen werden.

### **B.5.7 Passive Nothilfsführung**

Um die Fahrt bei einer Geschwindigkeit höher als 30 km/h uneingeschränkt betriebssicher auch auf einer engen Straße ohne ausreichenden seitlichen Sicherheitsabstand durchführen zu können, wäre es ohne redundante Fahrzeugausrüstung erforderlich, Leitkanten sowie Tastrollen am Fahrzeug vorzusehen, die als Rückfallebene im Falle eines Versagens der berührungsfreien Spurführung dienen.

Ein Wechsel auf eine mechanische Spurregelung – siehe O-Bahn in Essen oder Adelaide – ist nicht ohne Weiteres möglich, da das für den Regelbetrieb einer berührungsfreien Spurregelung erforderliche Spurspiel im Widerspruch zu der bei der mechanischen Spurregelung erforderli-

chen Vorspannung zwischen Führungsrolle und Leitkante steht. Hier wird bei gestörter Spurregelung nur eine Langsamfahrt möglich sein. Dies kann natürlich von vornherein durch den Verzicht auf eine berührungsfreie Spurregelung umgangen werden und durch das planmäßige Fahren unter Vorspannung (entsprechend dem O-Bahnsystem) ersetzt werden. Das Zurückgreifen auf eine aufragende Leitkante – egal ob zum Zwecke einer passiven Nothilfsführung oder als abtastbare Leitinformation – erscheint allerdings unter dem Aspekt der städtebaulichen Integration gleichermaßen problematisch.

### B.5.8 Abschätzung der Einsatzbereiche

Die Anwendung einer berührungsfreien Spurregelung führt bei hohen Geschwindigkeiten zu keiner Verkehrsflächeneinsparung, da Sicherheitszuschläge auch bei einem funktionstüchtigen Regelungssystem zu berücksichtigen sind. Zudem ist der Betrieb von einzelnen Fahrzeugen ohne funktionstüchtiger Spurregelung oder mit einer vom Fahrer eigenverantwortlich deaktivierter Spurregelung sowie eine tragbare Außerbetriebnahme der Spurregelung bei ungünstigen Witterungsverhältnissen oder Senderausfall ohne Betriebseinschränkung zu gewährleisten.

Darüber hinaus ist bei einer Auslegung als Fahrer-Assistenz-System bisher die Frage der Sicherstellung einer richtigen, situationsbezogenen Reaktion des Fahrzeugführers auf ein plötzliches Versagen der Spurregelung noch unzureichend geklärt. Die Sicherheit des Betriebes hängt im Versagensfall von der Aufmerksamkeit des Fahrers und seiner Reaktionsfähigkeit ab – ein Sicherheitskonzept, welches den Umstand vernachlässigt, dass sich eine Alltagsroutine einstellt, die zu einem menschlichen Fehlverhalten bei einem plötzlichen Störfall führen kann. Es stellt sich grundsätzlich die Frage, wieso man den Fahrer von der physischen Kurbelarbeit entbinden sollte, ihn gleichzeitig als „Rückfallebene“ für die automatisierte Kurbelarbeit in die Verantwortung nimmt, obwohl bei einer berührungsfreien Spurregelung ausreichend Verkehrsfläche auch für einen, unpräziseren handgelenkten Fahrbetrieb vorhanden ist.

Darüber hinaus steht zu vermuten, dass insbesondere durch eine umfassende Fahrerausbildung mit einem regelmäßigen Störfalltraining, durch die korrektive Inbetriebnahme der Spurregelung sowie die fortwährende Infrastrukturwartung nicht unbeträchtliche Nebenkosten bei einer Kostenrechnung berücksichtigt werden müssen.

Als Einsatzgebiete können nichts desto trotz Zonen niedriger Geschwindigkeit, also Haltestellenbereiche, Fußgängerzonen und Rangierfahrten auf Betriebshöfen ins Auge gefasst werden. Bisherige Erfahrungen zeigen aber, dass es eben für diese Bereiche auch bewährte konventionelle Maßnahmen gibt oder ein vordringlicher Handlungsbedarf nicht besteht.



**Bild B.34:** Nicht nur die induktive Weg- erfassung findet in der Industrie Anwendung – hier eine Luftkissentransportvorrichtung für Wagenkasten, geführt an einer Farblinie. (Werk DWA, Bautzen)

## B.6 Vergleichende Bewertung der Querführungstechniken

### B.6.1 Breitenbedarf der Betriebsanlagen

Vielfach wird angeführt, dass eine automatische Querführung für die Einrichtung von separaten Richtungsfahrbahnen in einem beengten Straßenraum benötigt wird, um eine Inanspruchnahme der knappen Verkehrsfläche möglichst gering zu halten. Hier stellt sich grundsätzlich die Frage, ob in einem beengten Straßenraum zur Gewährleistung eines störungsfreien Betriebs für handgelenkte Fahrzeuge zwischen Bus und Bahn überhaupt das konventionelle Trennungsprinzip zur Anwendung kommen muss.

- Zu überprüfen ist beispielsweise, ob einem handgelenkten Bus nicht eine rund 3.50 m breite Mittelspur zugeordnet werden kann, die, je nach Staulage entweder innenstadtwärts oder auswärts führend, den Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden kann. Die Verwendung der Bustechnologie lässt diesen Richtungswechselbetrieb offen.
- Des Weiteren wäre zu überprüfen, ob bei einem Verzicht auf eine beengte, getrennte ÖV-Trasse nicht die Führungsform „Dynamische Straßenraumfreigabe“ – mit dem ÖV-Fahrzeug als Pulkführer über einen Streckenzug hinweg – eine flächensparende Alternative darstellt, sofern auch hier bei der Einrichtung eine gesicherte Bezuschussung in Aussicht gestellt wird.

Bei der Anwendung des konventionellen Trennungsprinzips jedenfalls kommen folgende Überlegungen zum Tragen: Der Bus benötigt nach Auffassung der Verkehrsbetriebe handgelenkt in der Geraden bei Gegenverkehr mindestens eine Busfahrstreifenbreite von 6.50 m, ohne dass Komplikationen bzw. Zeitverluste im Begegnungsverkehr zu erwarten wären. Forschungsarbeiten zu Anfang der neunziger Jahre kommen gar zu dem Schluss, dass eine Regelfahrbahnbreite von 6.00 m für den Begegnungsfall Bus/Bus insbesondere zwischen Hochborden (beispielsweise ÖPNV-Trassen in Mittellage) als ausreichend anzusehen ist (MATTHEß 1994, S. 8, **Bild B.35**). Alstom gibt bei dem Projekt Millennium Transit in den zur Zulassung vorgelegten Unterlagen einer berührungsfreien Spurregelung dagegen eine Trassenbreite von 7,10 m an – ohne in den ge-



**Bild B.35:** Ein Gelenkbus befährt mit hoher Präzision einen sehr engen Fahrweg – ohne Spurregelung.

krümmten Trassenabschnitten aus Sicherheitsgründen auf eine mittige, bauliche Abtrennung durch Hochbordsteine verzichten zu können (Alstom 1998/a, S. 6).



Bild B.36: Die markierte Sperrfläche am linken Rand der TVM-Eigenstrasse stellt die Flächensparnis bei einem Gegenrichtungsbetrieb mit einem spurgeführten GLT/TVR im Vergleich zum handgelenkten Betrieb dar.



Bild B.37: Bei beengten Verhältnissen wird nicht nur eine automatische Querführung verkehrsflächensparend sein, sondernes wäre gleichfalls auch auf ein kleinprofiliges Fahrzeugzurückzugreifen. (LOHR INDUSTRIE)

Erscheint die Einrichtung eines besonderen Fahrkörpers im beengten Straßenraum zwingend notwendig, sollte deshalb auf ein mechanisch spurgeführtes Fahrzeug *und* einen kleinprofiligen Wagenkasten zurückgegriffen werden. Bei einem Einsatz eines Kleinprofilfahrzeugs mit einer Breite von 2.20 m nimmt ein solches mechanisch geführtes Verkehrsmittel bei doppelter Gleislage unter 5.50 m Straßenraumbreite ein, auch im Bereich von Gleisbögen. Kapazitätsprobleme durch die geringe Wagenbreite können durch eine entsprechende Fahrzeuglänge im 30 m - Bereich vermieden werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass

- im Vergleich zur Betriebsweise Handlenkung unter Beibehaltung der Entwurfsgeschwindigkeit mindestens einen Meter Verkehrsfläche in der Geraden eingespart werden kann – zur einen Hälfte durch eine mechanische Querführung und zur anderen Hälfte durch die Wahl eines Kleinprofil-Fahrzeugs (**Bild B.36 u. B.37**). Bei enger Kurvenfahrt kann eine Einsparung des Verkehrsflächenbedarfs je nach Gelenk- und Fahrwerksausbildung bedeutend größer sein.
- berührungsfreie Spurregelungen ohne passive Nothilfseinrichtungen infolge eines geschwindigkeitsabhängigen Sicherheitszuschlags (Rückfallebene Fahrer) keine wesentliche Verkehrsflächenreduzierungen gegenüber einem handgelenkten Betrieb bringen. Die Spurtreue insbesondere bei Kurvenfahrten setzt in erster Linie eine Allradlenkung und nicht eine berührungsfreie Spurregelung voraus.

## B.6.2 Einsatzempfehlung der Querführungstechniken

Es sei darauf verwiesen, dass verkehrspolitische Aspekte bei der Einführungsstrategie einer Querführung kaum einschätzbar sind. So wird in Diskussionen immer wieder angeführt, dass bei Verwendung der Busstechnologie nur ein automatisch quergeführtes Kapazitätsfahrzeug im Zuge des Neuartigen die Möglichkeit bieten könnte, das Privileg eines beschleunigten oder gar bevorrechtigten Fahrwegs im Rahmen kommunalpolitischer Entscheidungen zugesprochen zu bekommen und auf diesem Wege an Schnelligkeit und Zuverlässigkeit im Betriebsablauf zu gewinnen. In diesem Zusammenhang wird die Wichtigkeit psychologischer Aspekte einer zum Beispiel innovativen Spurregelung insbesondere von Fachkollegen aus Frankreich betont:

Die *berührungsfreie Spurregelung* eignet sich als ergänzende Fahrhilfe bei der Haltestellenanfahrt. Sofern ein Fahrzeug bereits für eine berührungsfreie Spurregelung optional konzipiert worden ist – wie dies serienmäßig bei Neoplan, Phileas und dem Civis der Fall ist – kann ohne besonderen technischen Aufwand über einen fahrzeugseitigen Sensor und einem Leitsystem die exakte, millimetergenaue Einfahrt und Positionierung ermöglicht werden. Der spaltfreie Halt an einer Busstation kann so bei einer zukünftigen Ausbauphase berücksichtigt werden. Bei gerader Haltestellenanfahrt ist allerdings der Selbstlenkungseffekt an Formsteinen zur Minderung der Spaltbreite nahezu gleichwertig, sofern geschulte Fahrer zum Einsatz kommen.

Die *mechanische Spurregelung an Leitkanten* ist ausdrücklich zu empfehlen bei kreuzungsfreien Sonderschnellfahrwegen. Die Anwendung der Spurbustechnologie empfiehlt sich – unabhängig von der Länge des Fahrzeugs – bei folgenden Streckenmerkmalen:

- bei einem längeren kreuzungsfreien Fahrweg und Geschwindigkeiten über 70 km/h – *zur Erhöhung der betrieblichen Sicherheit,*
- bei baulich aufwendigen Sonderfahrwegen – *zur Kosteneinsparung durch einen reduzierten Querschnitt insbesondere bei Ingenieurbauwerken* und
- bei einer Mitbenutzung von Schienentrassen – *zur Einhaltung des Lichtraumprofils.*

Eine *bimodale Betriebsweise* ist aus betrieblicher Sicht bei Anwendung einer Monoschiene nicht notwendig:

- Über 25,00 m Fahrzeuglänge muss mechanisch quergeführt gefahren werden, unter 25,00 m Fahrzeuglänge genügt eine Mehrachslenkung. Bei einer Fahrzeuglänge, die in ihren Abmessungen die größtmögliche, zulassungsfähige Länge überschreitet (in jedem Fall bei Fahrzeuglängen über 25,00 m), ist nur die mechanisch geführte, straßenbahnähnliche Betriebsweise möglich.
- Im Bereich unter 25,00 m liefert bei nicht kuppelbaren Fahrzeugen die Monoschiene eine hilfreiche, aber betrieblich nicht zwingend erforderliche witterungsunabhängige Fahrpräzision. Die Anwendung einer Spurführung bei Fahrzeuglängen weniger 25,00 m ist betrieblich nicht zu begründen, sofern es sich nicht um kreuzungsfreie Sonderschnellfahrwege handelt oder die geringere Breite des Fahrwegs zu einer Kosteneinsparung führt, die größer ist als die Mehrkosten für Einrichtungen und Instandhaltung der Spurführung an Fahrzeugen und Fahrweg. Andernfalls hängt die Anwendung einer Spurführung bei 25 m - Kapazitätsfahrzeugen auf Basis der Bustechnologie einzig und allein von den Mitteln ab, die den Betreibern zur Verfügung gestellt werden.

### B.6.3 Zusammenfassung

- Bei einer *Fahrzeuglänge über 25,00 m* ist eine mechanische Querführung zur Gewährleistung der allgemeinen Verkehrssicherheit zulassungsrechtlich notwendig. Daneben können städtebauliche Aspekte und ein Verkehrsflächenmangel hinreichende Argumentationshilfen bei der Wahl des Konzepts einer Kleinprofil-Straßenbahn mit einer Fahrzeugbreite  $b \leq 2.20$  m sein.
- Bei *Fahrzeuglänge unter 25,00 m* stehen mit der Mehrachslenkung und der Verwendung von Formsteinen im Haltestellenbereich profilierte Formsteine zur Verfügung, die bei einer sorgfältigen Planung der An- und Abfahrt den betrieblichen und wirtschaftlichen Belangen genügen. Ein Betriebswechsel zwischen der mechanischen Führung an einer Monoschiene und Handlenkung erfordert enormen technischen Aufwand zur Gewährleistung eines betriebssicheren Ein- und Ausfädelns.
- Die erprobte *mechanische Spurregelung* steht für den speziellen Fall eines unabhängigen Sonderschnellfahrwegs zur Verfügung.
- Der Einsatz einer *berührungsfreien Spurregelung* auf freier Strecke ( $v > 30$  km/h) führt zu keiner Verkehrsflächeneinsparung und wirft systemimmanente Sicherheitsfragen auf.
- *Haltestationen* ( $h > 160$  mm) bedürfen unabhängig des Einsatzes einer berührungsfreien Spurregelung oder Handlenkung einer Anordnung im Verkehrsraum, die eine geradlinige und bordparallele Anfahrt zulässt.



## B.7 Literatur

**N.N. (2000):** Civis breakthrough in Las Vegas, in: Tramways&Urban Transit, August 2000, S. 307.

**Ahlbrecht, H. (1986):** Spurbus nach Essen-Kray, in: Der Nahverkehr 3/1986, S. 38-43.

**Ahlbrecht, H. (1992):** Das Duo-Spurbussystem in Essen, in: eb – Elektrische Bahnen 90 (1992) Heft 4, S. 153-160.

**Alstom (1998/a):** Millenium Transit Project Study – Position of Bus in the event of guidance failure; 12/1998.

**Alstom (1998/b):** Millenium Transit Greenwich Peninsula London – System Description & Outline Safety Case; 12/1998.

**Boegner, J. (1986):** Spurbus Essen, Entwicklungsstand der Phase II, Planung Phase III, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Nahverkehrsforschung, Statusseminar XIII, Bonn 1986, S. 148-155.

**Boegner, J., Teubner, W. (1983):** Dual-Mode-Bus in Essen, in: Verkehr und Technik 1983, Heft 9, S. 318-327.

**Cégélec AEG Systems GmbH (1997):** Elektronische Spurführung – neue Impulse für den öffentlichen Nahverkehr mit Bussen, Öffentlichkeitsarbeit, Frankfurt/Main 1997.

**Chard, B. (2001):** Greenwich: Waterfront Transit plans. Tramways&Urban Transit July 2001, S. 248-251.

**Daimler-Benz AG (1988):** Das O-Bahn Konzept, Öffentlichkeitsarbeit, Stuttgart 1988.

**Daimler-Benz AG u. Ed. Züblin AG (1986):** The O-Bahn Busway Adelaide, Öffentlichkeitsarbeit, Stuttgart/Melbourne 1988.

**Der, R., Pantzer, Th. (2000):** Echtzeit-Lernverfahren zur Fehlerbegrenzung und Driftkorrektur für Odometrie-basierte Lokalisationsverfahren, Veröffentlichung der Universität Leipzig, Institut für Informatik, 2000.

**Dual-Mode-Bus-Systeme (1975):** Studie im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie – Förderungskennzeichen NTÖ 121 und NTÖ 129; Verfasser: Dornier System, Dorsch Consult, Technischer Überwachungsverein Rheinland, Friedrichshafen/München/Köln 1975.

**Essener Verkehrs-AG (Hrsg.) (1988):** Informationsschrift zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Spurbus Essen (Dual-Mode-Bus), Fahrzeuge/Fahrleitung sowie Fahrweg, Redaktion: J. Boegner u. S. Schlegel, Essen 1988.

**Essener Verkehrs-AG (Hrsg.) (1992):** Informationsschrift zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Spurbus Essen (Dual-Mode-Bus), Spurbusbetrieb im Tunnel (Phase III), Redaktion: J. Boegner u. M. Starck, Essen 1992.

**Essener Verkehrs-AG (Hrsg.) (1995):** Informationsschrift zum Abschluß des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Spurbus Essen (Dual-Mode-Bus), Redaktion: J. Boegner u. M. Starck, Essen 1995.

- Hochschultagung Weimar (1999):** Aspekte einer Busbahn, Referat von V. Deutsch, 20.9.1999, Weimar.
- Hoefs, D. H. (2000):** Viel Platz für viele Fahrgäste, in: Regionalverkehr 3/2000, S. 31-32.
- Hondius, H. (1990):** Die Niederflur-Entwicklung der belgischen Bombardier-BN-Werke, in: Der Nahverkehr 4/1990, S. 68-77.
- Hondius, H. (1998):** Zwischenlösungen oder „hybride“ oder „bi-modale“ Verkehrsmittel, in: Der Nahverkehr 1-2/1998, S. 60-71.
- Hondius, H. (2000):** Translohr: Eine Straßenbahn auf Gummireifen?, in: Stadtverkehr 10/2000, S. 6-15.
- Jahn, R. (1996):** Guided Light Transit (GLT): Die Straßenbahn auf Gummireifen, in: Nahverkehrspraxis, Nr. 9-1996, S. 24-27.
- Kluge, B. et al (1984):** Spurführung von Stadtomnibussen (Stand der Technik und betriebliche Besonderheiten der mechanischen Spurführung im Rahmen des Nahverkehrssystems O-Bahn), in: Internationales Verkehrswesen 36 (1984), Heft 2, S.132-137.
- Kluge, B. (1988):** Adelaide O-Bahn, Technical Constraints and Challenges (Task and Issues, Planning Processes, Limitations, Proceedings), International Seminar: Guided Bus Rapid Transit, Paper 8, Adelaide 1988.
- MAN (1984):** Guided Bus Technology, Special Information from Advance Development, Commercial Vehicle Division, 1984.
- Mattheß, V. (1994):** Zur Bemessung zweistreifiger Fahrbahnquerschnitte innerörtlicher Hauptverkehrs- und Sammelstraßen, Dissertation am Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt 1994.
- Niemann, K. (1983):** Vom handgelenkten Linienbus zum vollautomatischen Großraumzug (O-Bahn: Stand der Technik eines flexiblen u. wirtschaftlichen Nahverkehrssystem), in: Verkehr und Technik 1983, Heft 9, S. 311-317.
- Niemann, K. u. Sack, H.-A. (1983):** Projekt und erste Erfahrungen beim Bau einer O-Bahn-Strecke (Ausbaustufen des spurgeführten Omnibusverkehrs in Adelaide), in: Der Nahverkehr 6/83, S. 54-61.
- RUBIS Research Programm (2000):** Meeting im Hause von London Transport, London 28.3.2000.
- SNV Studiengesellschaft Nahverkehr mbH (1986):** Begleitende Untersuchungen zum Demonstrationsbetrieb elektronische Spurführung in Fürth, Schlußbericht, Hamburg, 1986.
- Teubner, W. (1986):** Spurbus in Essen, Omnibusverkehrstechnik, Seminar im Haus der Technik Essen, Arbeitspapier vom 30.09.1986.
- Vestische Straßenbahnen GmbH; Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (STUVA, 1993):** Niederflur-Bussystem-Abstandshilfen, BMV-Forschungsbericht FE-Nr. 70 387/92, November 1993.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV, 1999):** Linienbusse – fahrgastfreundlich, wirtschaftlich, schadstoffarm. ISBN 3-87094-641-5. Düsseldorf: Alba, 1999.
- VÖV/VDA (1979):** Bus-Verkehrssystem – Fahrzeug Fahrweg Betrieb, Verband öffentlicher Verkehrsbetriebe (VÖV), Köln und Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Frankfurt, Alba Buchverlag, Düsseldorf 1979.
- Wildhage, Ch. (1999):** Bus fährt Bahn auf deren Trasse davon, in: VDI Nachrichten, 16. April 1999, Nr. 15.

# **Anhang C**

## **Straßenbündige Stromzuführung**



# C.1 Einführung

## C.1.1 Zielsetzung

Die Projekte zur straßenbündigen Stromzuführung für elektrische Transportsysteme zwischen Bus und Bahn haben ihren Ursprung in dem Wunsch, abschnittsweise oder vollständig eine Oberleitungsanlage zu vermeiden, die besonders als Hochkettenfahrleitung in architektonisch oder historisch wertvollen Stadträumen als unschön empfunden wird. Sie entstammen damit weniger der Forderung nach einer betrieblichen Optimierung von Fahrzeugantrieb, Energieversorgung und Fahrleitungsanlage als vielmehr ästhetischen und städtebaulichen Aspekten. Hinter der Entwicklung einer straßenbündigen Stromzuführung steht das Bekenntnis zum elektrischen Fahrentrieb mit einer externen Stromversorgung, allerdings ohne den vielfach hervorgehobenen Kritikpunkt einer hängenden Fahrdrähtanlage. Die Verkehrsgeschichte kennt zahlreiche Lösungen und Anwendungen solcher Systeme gegen Ende des 19. Jahrhunderts (**Bild C.1**).



**Bild C.1:** Bau von Kanälen für eine unterirdische Stromzuführung für Straßenbahnen durch Siemens & Halske im Jahre 1895 in Dresden (DVB AG)

Ungeachtet der neueren Forschungstätigkeiten, die sich in Richtung der elektrischen Energieversorgung durch Induktion orientieren, werden im Folgenden nur die Verfahren der Stromversorgung über einen fahrzeugunterseitig angebrachten Kontaktarm erörtert und der Entwicklungsstand und Perspektive moderner elektrischer Transportsysteme mit einer Energieversorgung über einen allgemein zugänglichen Kontaktleiter beleuchtet.

## C.1.2 Systemkonzepte im Überblick

Ansaldo Trasporti gilt mit dem Stromabnehmersystem Stream als die erste Firma, die in jüngster Zeit wieder eine straßenbündige Stromzuführung vorgeschlagen hat, die den Oberleitungsdraht abschafft – ohne deshalb eine autonome On-Board-Antriebsanlage zu wählen. Die italienischen Forschungen über eine in der Fahrbahn bündig verlegte elektromagnetische Stromzuführung begannen mit einem Netz-/Batterie-Bus bereits 1994. Ansaldo ist mit ihrem Stream-System die einzige Firma, die darüber hinaus in Zusammenarbeit mit einem Omnibushersteller eine be-

rührungsfreie Spurregelung, u. a. auch in Kombination mit der Energieversorgung aus der Fahrbahn, mit in die Betrachtung einbezieht.

In Frankreich war das Straßenbahnvorhaben von Bordeaux der Auslöser für eine Anzahl ähnlicher Projektstudien. Eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Ingenieuren und Betreibern von Nahverkehrssystemen, hat sich 1997 mit dem Ziel gegründet, eine betriebstaugliche Lösung einer straßenbündigen Stromzuführung zu erarbeiten. Einige Konstrukteure haben Lösungen vom Typ „3. Schiene in der Erde“, also unterirdische Stromzuführung, vorgeschlagen, ohne bestimmte Neuerungen und im Ganzen genauso problematisch wie jene, die schon in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts in zahlreichen europäischen und amerikanischen Städten existierten.

Neue Ansätze stammten von der SGTE (Société Générale de Techniques et d'Études, Tochtergesellschaft von SPIE Enertrans). Die Energieversorgung erfolgt bei dem sogenannten Innorail-System mit Hilfe von kurzfristig stromleitenden Abschnitten, die elektrisch voneinander isoliert sind und deren Zuschaltung gleichlaufend mit der Fahrzeugbewegung durch elektromechanische Schalter zustande kommt. Später meldete Alstom (vormals Cégélec) 1998 ein Patent auf ein ähnliches System an, genannt ALISS, welches durchaus mit der Konzeptidee der SGTE vergleichbar ist. Bei einer Gegenüberstellung der beiden Entwicklungen fällt auf, dass die Schaltvorgänge bei Alstom nicht mit elektromechanischen Schaltern sondern mit Hilfe von IGBT-Transistoren auf elektronische Weise erfolgen. IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) sind Hochleistungs-Transistoren, die ein- und ausgeschaltet werden. Bei beiden französischen Systemen wird die Stromversorgung eines Einspeisungspunkts innerhalb eines entsprechenden Streckenabschnitts per Freigabekontrolle gesteuert.

Es liegt auf der Hand, dass die Hauptschwierigkeit für alle diese Stromabnehmersysteme darin liegt, eine perfekte Sicherheit gegen Berührung spannungsführender Teile zu garantieren. Das Hauptrisiko ist ein – unbemerkt von der Sicherheitslogik – unkontrolliert spannungsführendes Segment und damit die Gefährdung von Personen und Betriebsmitteln. Die unterschiedlichen von Ansaldo, SGTE und Alstom vorgeschlagenen Verfahren und damit die Konsequenzen, die sie im Hinblick auf Instandhaltung, Funktionstüchtigkeit und Verfügbarkeit nach sich ziehen, zeigen vor allem Unterschiede in der Herangehensweise zur Gewährleistung der Sicherheit und natürlich auch hinsichtlich der Kosten des Systems.



## C.2 System Stream

### C.2.1 Allgemeines

Das Konzept von Ansaldo, genannt Stream (Sistema di Trasporto Elettrico ad Attrazione Magnetica), umfasst ein bimodales Fahrzeug, das einerseits für die elektrische Energieversorgung über die Straße ausgerüstet ist und andererseits über eine an Bord befindliche Traktionsbatterie verfügt. Das Funktionsprinzip des Stromversorgungssystems beruht auf einem Band aus einem ferro-magnetischen Material, an dem oberhalb und unterhalb jeweils ein Leiter angebracht ist. Eine Isolationsschicht liegt zwischen jedem Leiter und dem mittigen Magnetband. Der positive spannungsführende Leiter ist oberhalb, der negative Rückleiter ist unterhalb des Magnetbands angeordnet (**Abbildung C.1**).

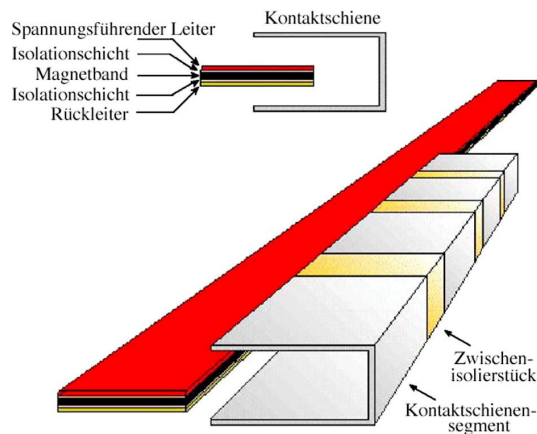


Abbildung C.1: Systemskizze der unterteilten Kontaktschiene im Stream-System (KHATIR/DEUTSCH)

### C.2.2 Funktionsweise

Das Fahrzeug, in Triest ein Omnibus, ist mit einem unter dem Fahrzeugrahmen kardanisch aufgehängten Gleitschlitten als Stromabnehmer ausgestattet, der einen Permanentmagneten enthält sowie einen positiven und einen negativen Kontaktschuh als Schleifer (**Bild C.2 u. C.3**). Der Gleitschlitten ist an einem beweglichen Tastarm montiert, um Fahrzeug-

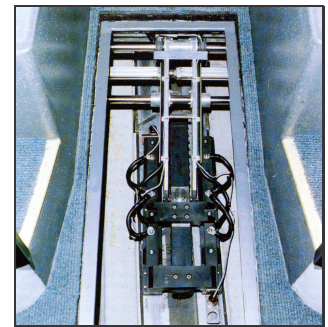


Bild C.2: Gleitschlitten beim Stream-System, gesehen aus dem Fahrgastinnenraum des Testfahrzeugs (ANSALDOBREDA)

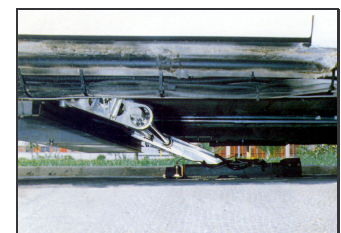
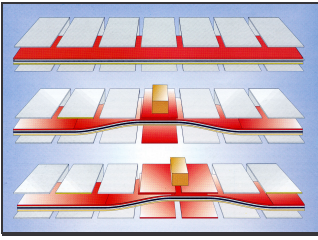


Bild C.3: Gleitschlitten beim Stream-System, Seitenansicht (ANSALDOBREDA)



**Bild C.4:** Die unterteilte Kontaktschiene wird beim Stream-System mittels magnetischer Anziehung unter Spannung gesetzt (ANSALDOBREDA)

bewegungen von knapp 70 cm zu beiden Seiten der Streckenachse zu erlauben, da beabsichtigt ist, das Fahrzeug auch im alltäglichen Verkehrsgeschehen vom Fahrzeugführer ohne automatische Querführung steuern zu lassen. Die Verbindung des Stromabnehmers mit den positiven und negativen Kontaktschienen wird elektro-magnetisch aufrecht erhalten. Über eine Anlege- und Abzugsvorrichtung kann gegebenenfalls ein Wechsel zwischen der bordinternen und der externen Energieversorgung eingeleitet werden. Das Abheben des Stromabnehmers kann auch während der Fahrt erfolgen, wohingegen ein Absenken nur bei Fahrzeugstillstand (Haltestelle) und bei in Längsrichtung genauer Positionierung möglich ist.



**Bild C.5:** Bei dem Stream-System ist die unterteilte Kontaktschiene (rechts im Bild) unter dem Fahrzeug spannungsführend, die durchgehende Kontaktschiene (links) dient der Rückleitung (ANSALDOBREDA)

Bei der Überfahrt des Fahrzeugs zieht der Magnet des Gleitschlittens das biegsame Magnetband an und setzt ein oder zwei Kontaktschienensegmente unter Spannung, die wiederum mit dem positiven Kontaktschuh des Fahrzeugs in Verbindung stehen. Also ist nur eine Zone von einer Länge zwischen 50 bis 100 cm der Kontaktschiene um den Magneten herum unter dem rollenden Fahrzeug unter Spannung. Zu beiden Seiten der Stelle, also dort wo es keine magnetische Anziehung mehr gibt, fällt das Magnetband durch die Schwerkraft wieder zurück und ist mit dem Erdpotential verbunden. Die mechanische Verformung des biegsamen Leiterbandes bewegt sich mit dem Magneten wie eine Welle in der Geschwindigkeit des Fahrzeugs (**Bild C.4**). Die Rückleitung des Stroms geht mittels eines negativen Kontaktschuhs vonstatten, der eine zweite Kontaktschiene bestreicht, die parallel neben der positiven Kontaktschiene angeordnet ist. Die positiven Pole sind verteilt auf isolierte Abschnitte von 50 cm Länge, wohingegen der negative Pol aus einer durchgehenden Metallspur besteht.



**Bild C.6:** Ein Kontaktschienen-Modul liegt zum Einbau bereit.

Die zweipolige Kontaktschiene ist straßenbündig in der Mitte der Straße in einen Isolationskörper eingebaut (**Bild C.5**). Der Magnetstreifen ist in vorgefertigten Modulen in der Form von Längskästen enthalten, die unter den Kontaktschienen in einem in den Straßenoberbau eingefrästen Graben von 30 cm Tiefe und 60 cm Breite liegen (**Bild C.6**). Diese Module sind geradlinig, steif, wasserdicht und messen zwischen drei und sechs Metern. Enge Bögen können nur unzureichend nachmodelliert werden und sind mit Batteriebetrieb zu befahren.

Die Versorgung der Kontaktschiene ab Unterwerk erfolgt mit 750 V Gleichstrom, verteilt über die Streckenlänge. Die Sicherheit des Systems beruht auf den folgenden Prinzipien:

- Abschaltung der Abschnitte über das Zurückholen des Magnetbandes durch die Schwerkraft,

- Bodenschleife und Verbindung von Abschnitten ohne Spannung mit der Erde,
- Aufspüren von Abschnitten, die betriebswidrig unter Spannung stehen.

### C.2.3 Entwicklungsstand

Die erste Versuchsstrecke zur Demonstration des Stream-Systems ist 1997 auf dem Werksgelände von AnsaldoBreda in Neapel auf einer Länge von 500 m erstellt worden. Hier wurde u. a. die Funktion der sicherheitstechnischen Plausibilitätsprüfung getestet, die überwachen soll, dass die Kontaktschienensegmente nur dann unter Spannung gesetzt werden können, wenn die für ein bewegtes Fahrzeug übliche fortlaufende Stromabnahme in der Reihenfolge der verlegten Module erfasst wird. So könnte verhindert werden, dass nur ein einzelnes Segment aus der Vielzahl der Kontakte unter Spannung gesetzt wird, beispielsweise aktiviert durch einen Fremdmagneten. Darüber hinaus erfolgte eine Erfassung der Eigenfrequenz des Leiterbandes und eine versuchstechnische Ermittlung der Randbedingungen, die die Anregung einer unbeabsichtigten Fortpflanzungswelle begünstigen könnten.

Seit Winter 1998/99 gehen die Tests auf einer Demonstrationsstrecke im Rahmen eines Versuchs der Azienda Consorziale Trasporti (ACT) im Stadtzentrum von Triest weiter. Derzeit ist der Versuchsträger ein 12 m langer handgelenkter Niederflur-Elektrobus N 6114 des Fahrzeugherstellers Neoplan mit Batteriehilfsantrieb. Ein 18 m langer Gelenk-Elektrobus N 6121 steht ebenfalls zur Verfügung. Die Omnibusse sind optional für eine Spurregelung vorbereitet, jedoch wird eine Anwendung zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ins Auge gefasst.

Hinsichtlich einer Spurregelung werden grundsätzlich drei Konzeptideen verfolgt: Zum einen wird überlegt, die Kontaktschienensegmente nicht genau in der Fahrstreifenmitte anzuordnen, um so die ideale Verlegespur für die Leitdrähte einer berührungsfreien Spurregelung freihalten zu können, zum anderen werden magnetische Positionsmarkierungen in Betracht gezogen. Beide Konzeptideen – namentlich von der Firma Neoplan – stehen für ein funktionsgetrenntes Nebeneinander der Aufgaben Energieversorgung und Spurregelung. Die dritte Konzeptidee (AnsaldoBreda) beinhaltet, dass das Magnetfeld der Stromzuführungen für eine induktive Spurregelungen verwendet wird. Ein solches kombiniertes Konzept Stromzuführung/Spurregelung eignet sich allerdings nur eingeschränkt, da bei der Aneinanderreihung der geradlinigen Module das Magnetfeld keineswegs deckungsgleich mit der Sollspur ist.

Die Fahrzeuge auf der Demonstrationsstrecke in Triest werden bei einem Umlauf eine Strecke von 6,6 km einschließlich 12 Haltestellen bei einer maximalen Längsneigung von 6% befahren. Es sind 2 Unterwerke eingerichtet. Nach dem Ende weiterer Versuchsreihen und nach Abnahme durch die Behörden könnte der Fahrgastbetrieb aufgenommen werden. Diese steht aber bisher aus. Bei Straßenbahnen würde man nach derzeitigen Erkenntnissen das zur Verfügung stehende zweipolige Kontakt-schienenmodul unverändert übernehmen, d. h. auf eine Schienenrückleitung könnte verzichtet werden.

## C.3 System von Innorail

### C.3.1 Allgemeines

Innorail ist die Tochtergesellschaft von SPIE-Enertrans, vor kurzem gegründet für die Entwicklung und Vermarktung des SGTE-Systems der fahrbahnbündigen Stromzuführung APS (Système d’Alimentation Par le Sol). Dieses besteht aus einem in Abschnitte (13 cm x 15 cm) unterteilten Kontaktschienenträger in Modulbauweise, der vollständig in die Straßendecke integriert ist (**Abbildung C.2**), des Weiteren aus Stromeinspeisungspunkten und Stromabnehmerschleifer unterhalb des Fahrzeugs. Jeder Schienenabschnitt ist von seinen Nachbarsegmenten abgeteilt durch isolierende Stücke, so dass die Fahrzeuglänge wenigstens zwei leitende Abschnitte und einen isolierenden Zwischenraum für eine kontinuierliche Stromabnahme zu überdecken hat. Die Längenausbildung der Kontaktschienenensegmente wird durch die gewählten Fahrzeuglängen bestimmt.

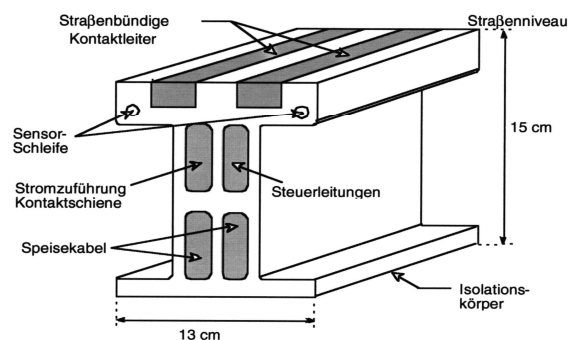


Abbildung C.2: Querschnitt Kontaktschienenensegment, System Innorail (KHATIR/DEUTSCH)

### C.3.2 Funktionsweise

In den Gehäusen der Stromeinspeisungspunkte ist die notwendige Ausrüstung enthalten, um zwei aufeinanderfolgende leitende Abschnitte zu versorgen, nämlich die elektromechanischen Schalter und eine elektronische Steuerung (**Abbildung C.3**). Zum Beispiel werden für eine Straßenbahn von 31 m Länge die Abschnitte in der Größenordnung von 11 m

liegen, die einer isolierenden Trennung werden 2 bis 3 m betragen. Der Platzbedarf der Gehäuse der Stromeinspeisungspunkte entspricht dem eines Zylinders mit einem Durchmesser von 38 cm und einer Höhe von 52 cm.

Die jeweiligen Abschnitte unter dem Fahrzeug werden mit einer Nennspannung von 750-V-Gleichstrom zugeschaltet. Der Strom wird über zwei positive hintereinander liegende Stromabnehmerschleifer entnommen, die zur sicheren Überdeckung der stromführenden Abschnitte im Bereich der Fahrzeugmitte angebracht sein sollten, und dann weitergeleitet zur Leistungselektronik und zum Antriebsmotor. Die Anordnung der Stromabnehmerschleifer erfolgt bei Schienenfahrzeugen immer im Fahrwerkrahmen, um unabhängig von den Wagenausschlägen in Gleisbögen zu sein. Die Fahrschiene der Straßenbahn dient zur Rückleitung des Antriebsstroms, wie bei einer Oberleitungsanlage. Im Fall des Fahrens auf Gummireifen erfolgt die Stromrückleitung mittels zweier Stromrückführungsschleifer, die an den jeweiligen äußeren Enden des Fahrzeugs angebracht sind, damit sie den Strom zu den Abschnitten zurückschicken, die an beiden Enden des rollenden Fahrzeugs anschließen.

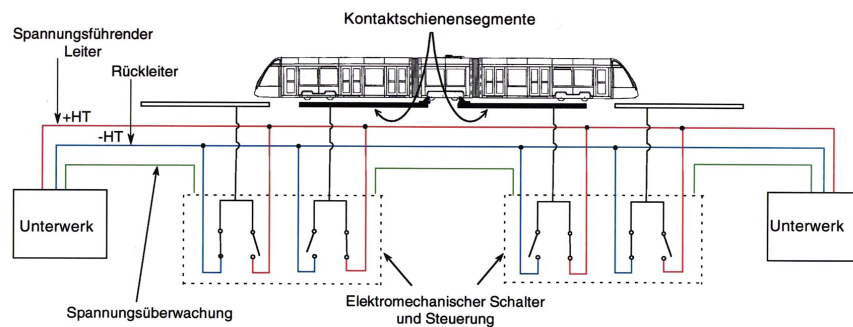


Abbildung C.3: Funktionsprinzip der Stromzuführung, System Innorail (KHATIR/DEUTSCH)

Eine an Bord befindliche Sendevorrichtung erlaubt dem Fahrzeug, seine Anwesenheit durch das Senden eines Codes mit einer Frequenz von 600 kHz an Sensor-Schleifen zu übermitteln, die im Boden liegen und deckungsgleich mit den Abschnitten der Kontaktstienensegmente sind. Das Erkennungssignal wird durch eine elektronische Karte im Gehäuse der Stromeinspeisung entschlüsselt. Sofern die Anwesenheit eines Fahrzeugs bestätigt werden kann, steuert die Karte das Schließen des elektromechanischen Schalters des entsprechenden Kontaktstienensegments, um den Abschnitt unter Spannung zu setzen. Von dem Moment an, wo dieser Schalter geschlossen ist, übermitteln die elektronische Steuerung das Signal „Empfangsbestätigung“ mit 30 kHz über die Sendevorrichtung an das Fahrzeug. Dies funktioniert über zwei Antennen, die in Fahrzeuginnenrichtung auf gleicher Höhe neben den positiven Stromabnehmerschleifern angebracht sind. Das Fahrzeug decodiert dieses Signal und steuert das Schließen eines weiteren, im Fahrzeug befindlichen



Schalters, der den Stromfluss durch den betreffenden Stromabnehmer-schleifer freigibt. Als Schalter werden hierzu nur noch vorübergehend leistungsstarke IGBT-Transistoren vom Typ 3,3 kV – 1,2 kA verwendet. Aktuell hat sich der Hersteller nach neueren Erkenntnissen dazu entschieden, die im Fahrzeug befindlichen IGBT-Transistoren durch elektromechanische Schalter, geeignet für hohe Stromstärken bis 1,5 kA, zu ersetzen.

Mit dem Weiterfahren des Fahrzeugs, wenn die hintere der beiden Antennen den Abschnitt verlässt, empfängt die an Bord befindliche Elektronik kein Signal mehr aus Richtung des Kontaktschienen-segments. Die Bordelektronik unterbricht dann mittels Öffnen des im Fahrzeug befindlichen Schalters den Strom des Schleifers, der das Signal nicht mehr zurückempfängt. Dies erlaubt das stromlose Öffnen des elektromechanischen Schalters des Stromeinspeisepunkts und stellt gleichzeitig die Verbindung mit dem Erdpotential her, um sicherzustellen, dass keine gefährdenden Spannungen auftreten. Das stromlose Öffnen dient als Schutzfunktion der Schalter, um trotz der Schalzhäufigkeit eine angemessene Haltbarkeit zu ermöglichen. Um Stromabrisse zu vermeiden, bedingt es allerdings das Vorhalten von zwei Stromabnehmerschleifern in dem jeweiligen Fahrwerkrahmen. Sie sind in einem solchen Abstand voneinander angebracht, dass die Länge des zu überbrückenden stromlosen Isolierabschnitts kürzer ist. Mittlerweile kommen in den Stromeinspeisepunkten weiterentwickelte elektromechanische Schalter zum Einsatz, bei denen auch bei einer Stromstärke von einigen Hundert Ampere noch eine ausreichende Haltbarkeit in Aussicht gestellt werden kann.

Bei dem Innorail-Konzept erfolgt eine unabhängige Überwachung der Spannungselemente mittels eines 24-V-Stromkreises. Jede Zustandsänderung der Spannungskontinuität eines Kontaktschienen-segments bewirkt eine Abschaltung. Sofern ein Fehler durch die Sicherheitslogik lokalisiert wird, erfolgt die Außerbetriebnahme des entsprechenden Segments. Das fehlerhafte Segment ist während des weiteren Betriebs ausrollend zu überfahren, bzw. die an Bord befindliche, als Notantrieb ausgelegte Traktionsbatterie kommt abschnittsweise zum Einsatz.

### C.3.3 Entwicklungsstand

Der Entwicklungsverlauf der Gesellschaft SGTE begann 1998 mit dem Entwurf einer Machbarkeitsstudie. Die Überarbeitung des Systems wird derzeit in Zusammenarbeit mit der RTM (Régie des Transports Marseillais) auf einer eigenen 350 m langen Strecke der Straßenbahn von Marseille in Höhe der Haltestelle Blancarde durchgeführt. Diese Versuchsstrecke verfügt über 28 Kontaktschienen-segmente und 14 Stromeinspeisungspunkte. Die Stromversorgung wird vom Unterwerk Blancarde

sichergestellt. Da die Strecke tagsüber von der RTM genutzt wird, werden die Versuche während der Nacht durchgeführt. Die SGTE plant ferner, die gewählten Technologien auf ihre Betriebstauglichkeit vertieft zu prüfen und die Systembestandteile auf zwei Versuchsstrecken auf dem Gelände der Gesellschaft Innorail in Vitrolles (Frankreich) zu optimieren. Die erste – eine 45 m lange, geradlinige Strecke, bestehend aus 6 Kontaktschienensegmenten und 3 Stromeinspeisungspunkten, auf der das Fahrzeug durch einen Schlitten mit Kontaktschuh simuliert werden wird – hat insbesondere die Aufgabe, die Witterungsempfindlichkeit und Störwirkung des Informationsaustausches Fahrzeug/Kontaktschiene in Erfahrung zu bringen. Die zweite – eine 80 m lange Schleife – wird als Ermüdungstest dienen und eine Stromzuführung unter 600 V bei Stromstärken von bis zu 1000 A untersuchen.

Die Gesellschaft Innorail ist derzeit völlig ausgelastet mit der Verwirklichung des Systems der fahrbahnbündigen Stromzuführung im Rahmen des Straßenbahnprojekts von Bordeaux über rund 8,5 der insgesamt 23 neuen Streckenkilometer. Eine allgemeine Betriebserlaubnis steht noch aus. Unabhängig von diesem Projekt plante die SGTE und die RTM nach dem Ende der Tests und der Erteilung der Betriebsgenehmigung einen probeweisen Fahrgastbetrieb, der 2001 durchgeführt worden ist. Hierbei ist ein Teil der derzeitigen Versuchsstrecke ausgedehnt worden, so dass eine ebenerdige Stromzuführung nach der Haltestelle Blancarde in Richtung Sainte-Thérèse auf 600 m Länge zur Verfügung steht, von denen 250 m auf allgemein zugänglicher Fahrbahn und 350 m auf einem besonderen Gleiskörper lagen. Dieser Streckenabschnitt, der für die Dauer von etwa einem Jahr im Fahrgastbetrieb untersucht worden ist, hatte die Aufgabe, die gewählte Standardisierung, Wirtschaftlichkeit und Betriebstauglichkeit des Systems zu prüfen. Anfang 2002 ist schließlich die Entscheidung gefallen, dass bei dem Straßenbahnprojekt in Bordeaux das System Innorail zum Einsatz kommen wird (**Bild C.7**).



**Bild C.7:** Einer der Stromeinspeisungspunkte, die in Bordeaux alle 22 m eingebaut werden. Zu beiden Seiten des Stromeinspeisungspunktes sind zunächst die Isolierabschnitte zu erkennen (jeweils 1,5 m lang), daran schließt dann ein 8 m stromführender Abschnitt an.  
(LA VIE DU RAIL)

## C.4 System ALISS

### C.4.1 Allgemeines

Das System ALISS (Alimentation Statique par le Sol) wurde von Alstom zum Zweck der fahrbahnbündigen Stromzuführung für alle öffentlichen Verkehrsmittel mit einem elektrischen Antrieb entwickelt: Obus, Busbahn oder Straßenbahn. Auch dieses System besteht aus einer Anordnung von gegeneinander isolierten Kontaktschienensegmenten, die in der Mitte der Straße bündig sichtbar angeordnet sind. Die Segmente sind mit den positiven und negativen Stromversorgungsleitungen durch leistungselektronische Schalter verbunden, untergebracht in wasserdichten Längskammern, die als Austauschmodule konzipiert sind. Sie liegen unter den straßenbündigen Kontaktschienen in einer Aufgrabung von 30 cm Tiefe und 30 cm Breite. Die Länge der Kontaktschienensegmente sowie die Spannung hängen vom Fahrzeugtyp ab.

### C.4.2 Funktionsweise

Sobald das System die Anwesenheit eines Fahrzeugs erkennt, hat es zum einen die Aufgabe, das Segment, auf dem sich der Stromabnehmerschleifer befindet sowie den nächsten Abschnitt in Fahrtrichtung und den vorhergehenden Abschnitt mit Spannung zu versorgen, zum anderen muss es die Stromrückführung der anderen Abschnitte steuern. Die Zuverlässigkeit dieser letztgenannten Steuerung ist wichtig, weil sie garantiert, dass es keine unkontrollierte gefährliche Zuschaltung eines leitenden Abschnitts geben kann, wenn sich gerade kein Fahrzeug darüber befindet (**Abbildung C.4**).

Die Stromzuführung des Fahrzeugs erfolgt entsprechend seinem Fortschreiten („Bocksprungverfahren“), indem der Stromabnehmerschleifer über die Kontaktschienensegmente gleitet und ununterbrochen ein kodiertes Signal mit einer Frequenz von 200 kHz überträgt. Der Kontakt des Schleifers mit der Kontaktschiene und damit der Empfang des kodierten Signals löst den Stromzuführungsprozess aus. Die Reaktionszeit des Systems ist sehr klein; dank der elektronischen Schalter vergehen nur wenige Tausendstel Sekunden. Der übertragene Code besteht aus einer Information bezüglich des Fahrzeugtyps und einer Informationssicherung entsprechend einem CRC (Check Redundance Control).

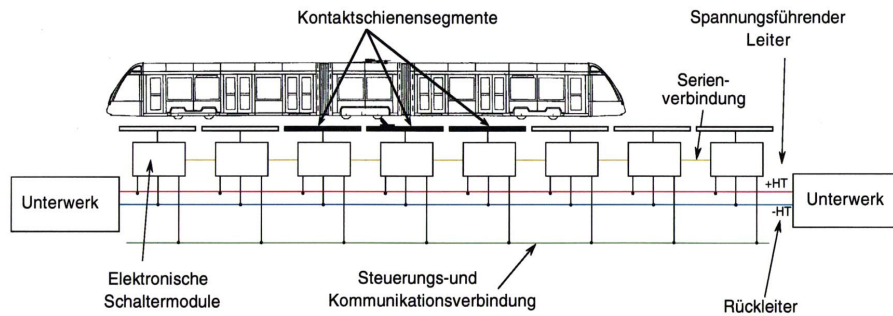


Abbildung C.4: Funktionsprinzip der Stromzuführung, System ALISS (KHATIR/DEUTSCH)

Jeweils drei Kontaktschienen-segmente werden durch den Stromfüh-rungsschleifer mit dem spannungsführenden Pol verbunden; möglicher-weise kann ein vierter unter Spannung gesetzt werden während der Überdeckung zweier aufeinander folgender Abschnitte durch den Strom-abnehmerschleifer. In jedem Fall sind die unter Spannung stehenden Segmente komplett vom Fahrzeug bedeckt. Die Rückführung des Stroms wird sichergestellt entweder durch die Fahrschiene im Fall der Rad/Schiene-Technik oder für Fahrzeuge auf Gummireifen durch einen zweiten Stromrückführungsschleifer, der auf der gleichen Längsachse liegt, jedoch um einige Abschnitte versetzt die wieder negativ zurückge-schaltete Kontaktschiene bestreicht.

Wenn der Stromabnehmerschleifer hochgefahren ist, bleibt das System unwirksam, und die Kontaktbereiche bleiben mit dem Erdpotential ver-bunden. In diesem Fall muss eine an Bord befindliche Energiequelle verfügbar sein, um das Fahrzeug im Betriebseinsatz halten zu können.

Jedes Segment ist mit einem elektronischen Schaltermodul verbunden, bestehend aus einer Hochleistungselektronik, die das Zusammenspiel von Steuerung und Kontrolle vereint. Die elektrische Ausrüstung ist aus zwei IGBT-Schaltern und deren Steuerungsvorrichtung zusam-mengesetzt. Eine Rückspeisung der Bremsenenergie wäre elektrotechnisch möglich, wird aber nicht weiter verfolgt. Neben erhöhten Kosten stellt die IGBT-Technik ein im Vergleich zur mechanischen Schal-tertechnik schwieriger zu lösendes Sicherheitsproblem dar. Letztlich kann ein IGBT, wie jeder Halbleiter, sich selbst einschalten, was im Falle einer Störung eine Zustandsänderung und damit eine Fehlfunktion auslösen kann. Es ist ein hoher Aufwand erforderlich, um eine betrieblich ausreichende Spannungssicherheit zu garantieren.

Hiervon unabhängig sollte eine Gefährdung von Personen ausgeschlos-sen sein, da das gesamte System dauerhaft überwacht wird mit Hilfe ei-nes Diagnosesystems zur Spannungsüberwachung FIP (Field Instru-mentation Protocol). Im Fall eines erfassten Ausfalls des statischen Schaltersystems oder im Fall des Auftretens einer gefährlichen Dauer-

spannung wird das Kontaktschienensegment mit Hilfe eines elektromechanischen Schalters (Selbstschalterprinzip) außer Betrieb genommen.

Das elektronische Steuerungs- und Kontrollsystem, das Teil des Schaltermoduls ist, stellt neben der Überwachung des statischen Schalters und der Außerbetriebnahme eines Kontaktschienensegments weitere Funktionen sicher, wie zum Beispiel das Aufspüren des Fahrzeugs, das Unterspannung-Setzen des entsprechenden Segments nach Gegenprüfung, die Steuerung der Voreinstellung des nächsten Abschnitts in Fahrtrichtung, das Abschalten des vorhergehenden Abschnitts sowie den Anschluss des Segments an den Rückleiter bei fehlendem Steuerungssignal.

### C.4.3 Entwicklungsstand

Bei dem System ALISS sind bis zum jetzigen Zeitpunkt nur theoretische Studien und Versuche mit Modellen betrieben worden. Alstom hat auf eine gründliche Laborstudie, unterstützt durch eine FDMS-Analyse gesetzt (FDMS: Fiabilité - Disponibilité - Maintenabilité - Sécurité). Das Entwicklungsprogramm von ALISS sieht mehrere Phasen vor, von denen die beiden ersten schon realisiert wurden. Sie bestanden zum einen aus einer Machbarkeitsstudie, zum anderen aus Versuchen mit einem Prüfstand 100 V – 100 A. Dieser Prüfstand besteht aus einem Rundlauf von 1,6 m Durchmesser mit 6 Kontaktschienensegmenten und 6 Prototypen von Austauschmodulen; ein Kontaktarm dient zur Fahrzeugsimulation bei Geschwindigkeiten bis zu 36 km/h (**Bild C.8**).

Diese Versuche haben es ermöglicht, gesicherte Erkenntnisse nicht nur über die Vorgänge des Befehlsaustausches, das Steuerungssystem und die Spannungszustände zu erhalten, sondern auch Forschungsergebnisse bezüglich der möglichen Ausfallarten der Bestandteile des IGBT. Das Modell erlaubte ebenfalls eine Überprüfung der Sicherheitsprinzipien und Versuche hinsichtlich der Verfügbarkeit des gesamten Funktionsprinzips. Einige Ergebnisse, die noch nicht zufriedenstellend waren, werden derzeit verbessert, insbesondere Probleme des Abschaltens unter Strom stehender Segmente. Auf einer Teststrecke in La Rochelle ist eine Stromzuführungsanlage von 120 m Länge geplant, um Aufschluss über Fragen der Fertigung und der Standardisierung der Elemente einer Vorserie zu erlangen. Eine sicherheitstechnische Abnahme und Zulassung wird angestrebt.



**Bild C.8:** System Aliss, Prüfstand der Rundlaufanlage (LA VIE DU RAIL)

## C.5 Zusammenfassung

Eine Oberleitung als Fahrleitung kommt weltweit bei allen Obussen, Stadt- und Straßenbahnsystemen zum Einsatz. Die technische Ausführung ist in hohem Maße ausgereift und bewährt. In städtebaulich sensiblen Gebieten kann bei Schienenbahnen die Hochkettenleitung optisch vorteilhaft durch eine Einfachfahrleitung mit unterirdischer Speiseleitung ersetzt werden. Bei Obussystemen mit einer zweipoligen Oberleitungsanlage bedürfen aufwändigen Weichen und Kurvenschienen besonderer Aufmerksamkeit bei der städtebaulichen Integration. Für den Fall, dass in engen städtischen Straßenräumen auf Oberleitungsmasten verzichtet werden muss, sind Verankerungen in den Fassaden der Gebäude anzubringen, wobei gegen Körperschallübertragungen entsprechende Dämpfungselemente eingebaut werden.

In Konkurrenz zu der straßenbündigen Stromzuführung steht bei dem Wunsch eines lokal emissionsfreien Fahrbetriebs und dem Verzicht auf einen Fahrdraht der *Batteriehilfsantrieb*, welcher planmäßig für sehr kurze Distanzen (Querung einer Fußgängerzone oder eines historischen Platzes etc.) anstelle einer externen Energieversorgung in Betracht gezogen werden. Bei der hierfür eingesetzten Batterie müsste ein Kompromiss zwischen Mehrgewicht und der Ladezyklenzahl gefunden werden. Alternativ könnte der Blick auf Leistungsspeichersysteme (Schwungradspeicher, Superkondensator) gerichtet werden, die sich derzeit in der praktischen Erprobung befinden.

Die straßenbündige Stromzuführung bietet durch die optische Unauffälligkeit eine möglicherweise höhere Konsensfähigkeit einer Energieversorgung in städtebaulich sensiblen Straßenräumen, sofern die Installation der Kontaktschiene kontinuierlich und verschwenkungsfrei durchgeführt wird. Mit dem Wegfall der Oberleitungsmasten ist eine geringfügige Verringerung der erforderlichen Trassenbreite verbunden.

Über das Problem der Sicherheit hinaus, dessen Lösung natürlich im Mittelpunkt steht, beruht die Herausforderung bei den Systemen der straßenbündigen Stromzuführung in der Eignung, die täglichen betrieblichen Schwierigkeiten, auch und vor allem Wasser, Eisbildung, Schlamm und aufgehäuftes Laub o. ä., auf Dauer zu meistern und unter Beweis zu stellen, dass die Verfügbarkeit im Vergleich zur bewährten Oberleitungsanlage mindestens gleichwertig ist. Hier dürfen Zweifel erlaubt sein.



Hinsichtlich der Problematik von Wasser auf der Fahrbahn ist zu berücksichtigen, dass stehende und stark salzbelastete Wasserlachen ebenso wie heftige Niederschläge Kurzschlüsse bei allen drei Stromabnehmer-systemen auslösen können. Bei einer Wasserlache auf einer Gleiszone bei fehlerhafter Drainage beispielsweise fließt der Strom zurück durch die Fahrschiene als dem gewöhnlichen Leiter des Rückstroms, dem kürzesten elektrischen Weg folgend (Kurzschluss). Dieser Strom kann aber nur vorhanden sein, wenn das Fahrzeug die gefährliche Zone bedeckt; die Zugänglichkeit für Personen ist damit zumindest behindert. Ein abschließender Beweis dafür, dass unter allen betrieblich auftretenden Umständen die Systemsicherheit auch bei Wasser auf der Fahrbahn erfüllt wird, steht noch aus.

Unter der Voraussetzung einer sicherheitstechnischen Unbedenklichkeit ist die Wahl des Stromzuführungstyps in Bordeaux politisch entschieden worden, denn die notwendigen Investitionskosten liegen zwei bis vier Mal höher als bei einem aufgehängten Fahrdrabt (Stream: 200%; Inno-rail: 250%; ALISS: 400%). In Bordeaux werden für 8,5 km straßenbündige Stromzuführung, System Inno-rail, mit Zusatzkosten von über 30 Mio. EUR im Vergleich zu einer Fahrdrabtanlage gerechnet. Das Mehrgewicht der fahrzeugseitigen Ausrüstung soll in Bordeaux deutlich über 1 t betragen. Das entspricht genau dem Mehrgewicht einer vergleichbaren, herkömmlichen Traktionsbatterie. Aussagen über den Instandhaltungsaufwand sind noch nicht möglich. Inwieweit eine Standardisierung der Elemente des Systems – auch zwischen den Herstellern – eine Kostensenkung erwarten lässt, bleibt abzuwarten.



## C.6 Literatur

**Khatir, Z. (2000):** Nouveaux procédés d'alimentation électrique par le sol des systèmes de transport urbains, in: REE, N°/200 0 – Juin, S. 61-66.

**Khatir, Z., Soulas, C., Deutsch, V. (2001):** Straßenbündige Stromzuführung, in: Der Nahverkehr, 1-2/2002, S. 23-28.



# **Anhang D**

## **Elektronische Deichsel**





# D.1 Einleitung

## D.1.1 Hintergrund

Zur Optimierung des Pulkfahrens und der Einsparung von Lohnkosten ist die Idee eines Multi-Mode-Bus-Systems mit *virtuellen Bus-Zugverbänden* aus autarken Einzelfahrzeugen entstanden, d. h. mehrere (Solo-) Busse fahren mittels berührungsfreier Kupplung – der so genannten elektronischen Deichsel – im relativen Bremswegabstand.

In zahlreichen europäischen Städten mit Busverkehr kommt es im städtischen Kernbereich auf der Stammachse des Liniennetzes durch eine hohe Frequentierung zu verkehrlichen Kapazitätsengpässen. Vielfach ist im Busverkehr das Pulkfahren auf Stammstrecken die einzige Möglichkeit, befriedigende Verhältnisse bei der Verkehrsqualität zu erzielen (**Bild D.1**). Ziel eines Multi-Mode-Bus-Systems ist es, dieses Pulkfahren *technisch* zu organisieren. Langfristig ist es das Ziel, einen solchen Bus-Zugverband aus mehreren Einzelfahrzeugen auf einer Stammstrecke wirtschaftlich vorteilhaft nur mit einem Fahrzeugführer zu besetzen. Gleichmaßen sollen mit einem Multi-Mode-Bus-Konzept ungebrochene Verkehrsanbindungen von aufgelockerten Siedlungsstrukturen mit Verkehrsballungsgebieten angeboten werden.



Bild D.1: Pulkfahren

## D.1.2 Technische Anforderungen

Im Wesentlichen sind bei der Fahrt als Bus-Zugverband mit der *elektronischen Deichsel* zum einen Fragestellungen der

- Spurregelung sowie zum anderen der
- Abstands- und Antriebsregelung

zu beantworten. Bei dem Multi-Mode-Bus-System ist die berührungsfreie Betriebsabwicklung des Bus-Zugverbands Herausforderung und sicherheitstechnisches Hauptproblem zugleich.

Eine *Spurregelung* ist notwendig, damit die Folgefahrzeuge in einem möglichst spurtreuen Nachlauf geführt werden können. Entweder es werden die Lenkbefehle des Führungsfahrzeugs jeweils auf elektrohydraulische Steuereinheiten der Folgefahrzeuge wegabhängig verzögert übertragen, oder aber es wird über eine streckenseitige Leitinfrastruktur – berührungsfrei (mit passiver Nothilfsführung) oder mechanisch – sichergestellt, dass jedes Einzelfahrzeug für sich automatisch quergeführt wird.

Einer *berührungsfreien Abstands- und Antriebsregelung* wird der Informationsaustausch der Fahrzeuge untereinander vorausgesetzt. Im Unterschied zur herkömmlichen Abstandshaltung mit Sensoren, wie sie im Automobilbereich eingesetzt werden, soll zukünftig die Abstandshaltung durch die Kommunikation der Einzelfahrzeuge eines virtuellen Bus-Zugverbands untereinander realisiert werden. Vorteil ist hierbei, dass jedes Einzelfahrzeug des Verbandes zur gleichen Zeit eine Information über die Geschwindigkeitsänderung des ersten Einzelfahrzeugs erhält. Die Reaktionszeit des letzten Einzelfahrzeugs auf die Geschwindigkeitsänderung des ersten Einzelfahrzeugs ist somit unabhängig von der Länge des Zugverbands.

### D.1.3 Entwicklungsstand

Auf dem Gelände des Prüfcenters für Bahntechnik in Wegberg-Wildenrath sind unter der Projektleitung des „Lehrstuhls und Instituts für Fördertechnik und Schienenfahrzeuge“, Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Frederich, RWTH Aachen, in Zusammenarbeit mit Siemens TS praxisnahe Tests einer elektronischen Deichsel im Rahmen des Projektes CargoMover gefahren worden – allerdings freigeschnitten von der Problematik einer berührungsfreien Querführung. CargoMover sind fahrerlose Einzelwagen, die im Güterverkehr automatisch verkehren sollen. Sicherungstechnisch erfolgt eine Anlehnung an den neuesten Stand der Bahnautomatisierungstechnik sowie an das sich im Aufbau befindliche europäische Zugbeeinflussungssystem ETCS. Hierzu sind in frühen Testphasen zwei Pkw mit schienengängigen Felgen ausgerüstet worden. Es sind Fahrversuche bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h und einer Abstandsregelung im Bereich zwischen 5-10 m durchgeführt worden. Mittlerweile dienen als Erprobungsträger zwei CargoSprinter.

Derzeit testet Toyota in Mishuku (Japan) ebenfalls eine Variante der elektronischen Deichsel. Die Spurregelung erfolgt durch das Abtasten von magnetischen Positionsmarkern, die auf die Fahrbahnoberfläche aufgedübelt werden. Es lassen sich bis zu sechs Einzelfahrzeuge aneinander kuppeln, so dass je nach Platzbedarf bis zu 480 Fahrgäste (pro Bus maximal 80 Plätze) transportiert werden können. Als idealen Einsatzbereich stellt sich Toyota z. B. einen Flughafenzubringerdienst vor (Spiegel-online 2001). Toyota nennt das projektierte Transportsystem IMTS, eine Abkürzung für „Intelligent Multi-Mode Transit System“. Ein Einsatz im innerstädtischen Nahverkehr wird zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ins Auge gefasst (**Bild D.2**).



**Bild D.2:** Toyota und eine Variante der elektronischen Deichsel-funktionstauglich zumindest unter „Laborbedingungen“ (SPIEGEL ONLINE/TOYOTA)

Bei dem Phileas-Busbahn-Projekt in Eindhoven (Niederlande) soll auf ÖPNV-Trassen neben spurgeregelten Fahrzeugen in einer späteren Entwicklungsphase auch die elektronische Deichsel zum Einsatz kommen. Über die berührungsfreie Kuppelbarkeit mittels elektronischer Deichsel wird angestrebt, die Kapazität entsprechend den Erfordernissen der Nachfrage, insbesondere während der Spitzenstunde, anzupassen (BOUWMAN, VERLEG 2001, S. 5).

## D.2 Sicherheitstechnische Randbedingungen

### D.2.1 Prinzipielle Länge des Bus-Zugverbands

Bei einem Multi-Mode-Bus-System wird längenbedingt, also unabhängig von der eigentlichen Technik und Zulassungsfähigkeit der elektronischen Deichsel, bei der Teilnahme am allgemeinen Straßenverkehr ab einem rund 25,00 m langen Verband ein Zulassungsprozess in Anlehnung an die Straßenbahn- Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) zu erwarten sein, welches eine durchgängige (mechanische) Querführung entlang einer Leitinfrastruktur zur Folge haben dürfte. Demnach wäre eine automatische Querführung bereits bei einer größeren Anzahl als zwei Standard-Solobussen – sofern dies die kleinste Gefäßgröße darstellt – im Verband anzuwenden sein.

### D.2.2 Querführung

Nach derzeitigen Erkenntnissen ist zu erwarten, dass bei einer berührungsfreien Spurregelung außerhalb von Langsamfahrbereichen auch immer eine vom Fahrer unabhängige Rückfallebene genehmigungsrechtlich zwingend erforderlich sein wird. Nur so besteht tendenziell die Möglichkeit den Nachweis zu führen, dass mindestens die gleichen Anforderungen an Sicherheit und Ordnung erfüllt werden, wie dies bei einem konventionellen Betrieb nach den allgemein anerkannten Regeln der Spurführungstechnik des Rad/Schiene-Systems der Fall wäre.

Bei einer berührungsfreien Spurregelung wird demnach eine Eigentrasse mit passiver Nothilfsführung (z. B. Leitplanke, Seitenbegrenzung mittels Kasseler Formstein etc.) zu fordern sein, oder aber es wird durch ein aufwändiges, mehrfach redundant ausgelegtes System der Nachweis einer ausreichenden Gesamtzuverlässigkeit erbracht (Rückfallebene System, bisher ohne Anwendung).

### D.2.3 Abstandshaltung

Unbeantwortet bleiben zum jetzigen Zeitpunkt selbst bei einer mechanischen Querführung zahlreiche Einzelfragen der berührungsfreien Abstandsregelung bei einem Einsatz im städtischen Oberflächenverkehr:

- Genügt hier bei einem berührungsfrei gekuppelten Bus-Zugverband mit nur einem Fahrer ein besonderer Fahrweg oder muss eine unabhängige Eigentrasse vorausgesetzt werden?
- Welche sicherheitstechnische Rückfallebene bietet die elektronische Deichsel, wenn es beispielsweise bei einem Einzelfahrzeug des Bus-Zugverbands zu einem plötzlichen Abfall des Drucks in irgendeinem Reifen bzw. es gar infolge einer Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer zu einer unkontrollierten Trennung kommt, oder kleinere Fremdkörper im Bereich der Radabrollfläche (z. B. Ziegelstein o. ä.) liegen, die die Fahrt eines der Einzelfahrzeuge beeinflussen könnte?
- Wie kann ein ausreichender Kollisionsschutz der Einzelfahrzeuge des Bus-Zugverbands untereinander bei allen Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Bewegungen, Gefahrenbremsungen, Reibwertänderungen der Fahrbahn, Beladungen, Fahrbahneigungen, Seitenwind, Schwerpunktsverschiebungen und Nutzlaständerungen etc. gewährleistet werden?
- Wie müssen Stoßeinrichtungen an den Fahrzeugen ausgebildet sein?

Es ist herauszustellen, dass die elektronische Deichsel nach derzeitigen Erkenntnissen nicht betriebsreif ist und keine Planungssicherheit beim Zulassungsvorgang besteht. Hier mögen weitere Erprobungen zeigen, ob aus sicherheitstechnischen Gründen neben einer mechanischen Querführung auch eine mechanische Schnellkupplung der elektronischen Deichsel vorzuziehen ist.

## D.3 Betriebliche Aspekte

### D.3.1 Fahrgastsicherheit und -abfertigung

Im Folgenden sollen einige Detailprobleme insbesondere im Hinblick auf den Fahrgastbetrieb und der Fahrgastabfertigung aufgezählt werden:

- So müssten beispielsweise Lichtschranken zwischen den berührungsfrei gekoppelten Fahrzeugen zum Einsatz kommen, um zu verhindern, dass bei Stillstand des Bus-Zugverbands Fußgänger vom Fahrer unbemerkt zwischen den Fahrzeugen die Fahrbahn kreuzen (**Bild D.3**).
- Nicht durchgängig begehbare Einzelfahrzeuge eines Bus-Zugverbands erfordern besondere Maßnahmen zur Fahrgastsicherheit.
- Informationssysteme müssen dem Fahrgast den Weg zum richtigen Einzelfahrzeug des Bus-Zugverbands erleichtern (Vorsortierung der Fahrgäste).
- Es ist auf eine städtebaulich integrierbare und dennoch ausreichend lang dimensionierte Haltestellenanlage auf den Stammachsen zu achten.



Bild D.3: Zur Abschränkung können auch Gummibänder eingesetzt werden, Beispiel Luzern. (N.N.)

### D.3.2 Liniengestaltung

Oft werden auf den Schwerelinien des ÖV-Verkehrs die eingesetzten Verkehrsmittel bewusst als Einzelfahrzeuge eingesetzt, um durch einen dichten Takt eine hohe Verfügbarkeit mit kurzen Wartezeiten für die Fahrgäste anbieten zu können. So werden zahlreiche Straßenbahnstrecken von mehreren Grundlinien befahren, die sich im äußeren Stadtgebiet je nach Siedlungsschwerpunkten verzweigen.

Bei diesem Prinzip der Liniengabelung reduziert sich die Zugfolge in den Gabelästen, wodurch die Angebotsdichte der reduzierten Nachfrage in aufgelockerten Siedlungsstrukturen angepasst wird. Umgekehrt ist die Zugfolgezeit auf der ÖV-Hauptachse im Vergleich zu den Gabelästen halbiert. Mögliche Kapazitätsengpässe auf der ÖV-Hauptachse werden im Straßenbahnverkehr durch eine Steuerung des Zulaufs, größere Züge oder sich kreuzende – und nicht überlagernde – Grundlinien vermieden (bei Straßenbahnen z. B. Straßburg; bei Stadtbahnen z. B. Hannover).

Bei einem Multi-Mode-Bus-Konzept hätte dagegen die Bündelung von Einzelfahrzeugen eine reduzierte Verfügbarkeit auf der Stammachse zur Folge.

### D.3.3 Wirtschaftlichkeit

Da bei der Zusammenstellung eines Bus-Zugverbands die Zeit zur Zugbildung zu Anfang der Stammachse berücksichtigt werden muss, gegebenenfalls auch die Disposition der Fahrer der Einzelfahrzeuge, wird ein Multi-Mode-Bus-System nur dort in Betracht zu ziehen sein, wo gemeinsame, möglichst lange unverzweigte Streckenabschnitte bestehen und des Weiteren nach Möglichkeit mittels geschickter Disposition Fahrpersonal eingespart werden kann. Die Vorlaufstrecken und Stammstrecken müssen hierbei zwingend pünktlich befahren werden, um ohne Wartezeiten die Bus-Zugverbände bilden und die Dispositionen der Fahrer zuverlässig organisieren zu können. Unverzichtbar sind deshalb Maßnahmen, die eine Steuerung des Zulaufs außerhalb der ÖPNV-Trasse ermöglichen.

In der Studie „Dual-Mode-Bus-Systeme“ (1975) finden sich Angaben zur Einsparung von Fahrpersonal, die im Ansatz durchaus auch auf aktuelle Multi-Mode-Bus-Konzepte übertragbar sind. Es ist hierbei Mitte der siebziger Jahre anhand der Städte Ulm, Karlsruhe und Bielefeld untersucht worden, ob bei einem fahrerlosen Betrieb auf einer unabhängigen Eigentrasse Fahrer eingespart werden könnten und welcher Aufwand bei der Fahrerdisposition vertretbar ist. Zusammenfassend wurde festgestellt:

- Die Möglichkeiten der Fahrerdisposition hängen stark von den Linienfrequenzen ab. Allgemein können die Wartezeiten der Fahrer bis zur Übernahme eines neuen Fahrzeugs durch eine einfache und auch für den Fahrer übersichtliche Disposition zwischen zwei Linien minimiert werden. Die Einsparung durch weitergehende Disposition steht in keinem Verhältnis zu dem entstehenden Aufwand und der wesentlich größeren Störungsanfälligkeit (Dual-Mode-Bus-Systeme 1975, S. 26).
- Eine Einsparung an Fahrern ist nur bei Vorhandensein eines genügend langen Magistralennetzes möglich (Dual-Mode-Bus-Systeme 1975, S. 26). In der Studie wird für vollautomatisch gesteuerte Transporteinheiten mit 50 Personen pro Fahrzeug eine minimale Länge einer Stammachse von 2,5 km genannt.

Bei dem Verbleib eines Fahrers im Führungsfahrzeug und einer größeren Gefäßgröße wäre die oben angegebene minimale Magistralenlänge von 2,5 km bei den aktuellen Multi-Mode-Bus-Konzepten im Hinblick auf eine wirtschaftliche Umsetzung deutlich zu kurz. Es muss davon ausgegangen werden, dass auf den vergleichsweise kurzen innerstädtischen Stammachsen, ein erhöhter Personalwirkungsgrad nicht erreicht werden kann.



## D.4 Vergleichbare Anwendungen im Schienenverkehr

### D.4.1 Virtuelle Zugverbände

Ursprünglich stammt die Idee der virtuellen Zugverbände aus dem Bereich des Güterschienenverkehrs (Virtually Coupled Train Formations, VCT; MINDEL 1998, S. 57). Erklärtes Ziel ist hierbei die Erhöhung der Streckenauslastung über ein innovatives Betriebskonzept, welches darauf aufbaut, dass Züge Schienenstrecken genauso flexibel befahren wie heute Pkw und Lkw die Straßen. Im Idealfall heißt das, dass jeder Wagen einen eigenen optimierten Antrieb besitzt und so einen kurzen, intelligenten, autarken Modulzug bildet. Mit Hilfe elektronischer Datenübertragung fahren diese Modulzüge mit einem minimalen Abstand, der dem mechanisch gekuppelter Wagen entspricht. Die Zulässigkeit wesentlich schneller als mit Schrittgeschwindigkeit in ein besetztes Gleis einfahren zu dürfen, ist Voraussetzung virtueller Zugverbände. An Verzweigungsstellen scheren die Modulzüge automatisch aus dem Verband aus bzw. ordnen sich in den Verband ein (BOCK, VARCHIM 1999, S. 316).

Ein derartiges Verfahren wird beispielsweise bei der Deutschen Bahn AG unter dem Arbeitstitel „Train-Coupling and Train-Sharing“ vorrangig hinsichtlich des Güterverkehrs untersucht (ALTHAMMER 2001, S. 30; **Abbildung D.1**).

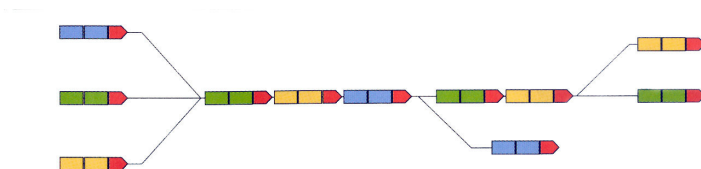


Abbildung D.1: Train-Coupling und -Sharing (ALTHAMMER)

Mit Blick auf die Bahnbetriebsleittechnik ist dies ein Loslösen weg von der blockweisen Streckenfreigabe (modern auch „Moving-Block“ oder „Funkbasierter Fahrbetrieb“) hin zum Fahren im relativen Bremswegabstand. Im Bereich der Eisenbahnverkehrstechnik stellt dies einen innovativen Ansatz dar, der aber beim Fahren auf Sicht bei Straßenbahnen und

erst recht bei Linienbussen, die auf Stammstrecken ohne technische Hilfsmittel bei geringen Geschwindigkeiten sogar im verkürzten absoluten Bremswegabstand fahren, nie anders praktiziert wurde.

#### D.4.2 Flügelungsprinzip



Bild D.4: Flexliner IR3D in Schweden, Stangaadalsbanen (ALSTOM)

Aus Sicht des Fahrgastbetriebs ist die Idee der virtuellen Bus-Zugverbände im regionalen Schienenverkehr eher dem Flügelungsprinzip zuzuordnen, angewendet beispielsweise beim ICE Ruhrgebiet, Thalys, Pendolino Nürnberg, Oberlandbahn, Regionalbahn Nordhessen oder bei der Euregiobahn. In Skandinavien sind im Regionalverkehr auch so genannte Flexliner im Einsatz, wobei eine Gummiwulst und wegdrehbare Führerstandseinrichtungen an den Fahrzeugenden den Fahrgastfluss zwischen den gekuppelten Einzelfahrzeugen ermöglichen (**Bild D.4**). Einer Übertragung des Flügelungsprinzips auf den städtischen Nahverkehr stehen hierbei aber Eisenbahn-spezifische Voraussetzungen und Randbedingungen entgegen:

- Beim Flügelungsprinzip kommt der abschnittsweise Zugverband natürlich auf vom Individualverkehr gänzlich unbeeinflussten Streckenabschnitten zum Einsatz,
- die Datenübertragung und die Abstandshaltung erfolgen über eine mechanische Schnellkupplung,
- die Rad/Schiene-Technik ermöglicht in bewährter Weise die betriebssichere Bildung langer Transporteinheiten,
- die Eisenbahnsicherungstechnik bedingt einen zeitlichen Abstand zweier einander folgender Züge (Sperrzeit einschließlich Pufferzeit), so dass mit dem Einsatz langer Züge die Leistungsfähigkeit eines Streckenabschnitts deutlich angehoben werden kann,
- die Überliegestrecken im Schienennetz sind im Gegensatz zu innerstädtischen Stammachsen sehr lang (oft über 50 km), so dass im Einzelfall eine Disposition der Fahrzeugführer umsetzbar ist und der Kupplungsvorgang einschließlich Bremsprobe zeitlich kaum ins Gewicht fällt,
- es können Trassennutzungsgebühren eingespart werden.

Darüber hinaus findet im regionalen Schienenpersonenverkehr eine Linienverknüpfung an Umsteigebahnhöfen im Vergleich zum städtischen Nahverkehr oft nur im Stundentakt statt, d. h. dichtere Zugfolgen wären ohnehin ohne Anschlussverbindungen.

## D.5 Zusammenfassung

Sollte auch bei der Umsetzung eines virtuellen Bus-Zugverbands in einem ersten Schritt nicht die Einsparung von Fahrpersonal im Vordergrund stehen, so bedürfen darüber hinaus jedoch sicherheitstechnische Anforderungen und netzkonzeptionelle Bedienungsalternativen bei einem Multi-Mode-Bus-System mit elektronischer Deichsel einer besonderen Betrachtung.

- Es bleibt festzuhalten, dass unter der Annahme eines Bus-Zugverbands mit über 25,00 m Gesamtlänge vorerst eine mechanische Querführung oder Notführungseinrichtungen genehmigungsrechtliche Voraussetzung eines Multi-Mode-Bus-Systems sein dürften.
- Bei einem Einsatz einer berührungsfreien Abstandsregelung steht noch der Nachweis aus, dass beim Versagen der elektronischen Deichsel, dem Verlust des Kraftschlusses oder extremen Störgrößen alle Einzelfahrzeuge eines Bus-Zugverbandes längs zur Leiteinrichtung sicher zum Stehen gebracht werden können.
- Unabdingbar für die Zielsetzung eines auf verkehrliche Erfordernisse ausgerichtetes Multi-Mode-Bus-Systems ist eine einzelfallspezifische Bewertung von Siedlungsstrukturen. Hierbei wären Quelle-Ziel-Relationen und Verkehrsstromstärken eines ÖV-Netzes, welche überhaupt erst Überlegungen in Richtung auf ein bedarfsgerechtes Multi-Mode-Bus-System begünstigen, noch gesondert herauszuarbeiten. Innerstädtische Stammstrecken sind aber als Einsatzbereich wenig aussichtsreich.
- Unter dem Aspekt der Einsparung von Fahrpersonal kann der Einsatzbereich dort eingehender geprüft werden, wo ein Zielort über eine möglichst lange, gemeinsame ÖPNV-Trasse zu erreichen ist, wie dies typischerweise bei einem Flughafenzubringerdienst o. ä. der Fall wäre.
- Weitere planerische Voraussetzung wäre eine Fahrplan- und Liniengestaltung mit der Möglichkeit, die Fahrer auf den Zulaufstrecken der ÖPNV-Trasse nach dem Sammeln der Fahrgäste an dem ÖV-Trassenendpunkt zeitlich abgestimmt wieder die Fahrzeuge der Gegenrichtung zum Verteilen der Fahrgäste übernehmen zu lassen.



## D.6 Literatur

**N.N. (2001):** Gekoppelt in die Zukunft – Auto – Spiegel online 11.01.2001.

**Althammer, K. (2001)** Aufgaben und Ziele in Forschung und Entwicklung bei der Deutschen Bahn AG, EI – Der Eisenbahningenieur (52) 3/2001, S. 24-33.

**Bock, U., Varchmin, J.-U. (1999):** Erhöhung der Streckenauslastung durch „Virtuelle Zugverbände“, VDI-Berichte Nr. 1488, Düsseldorf 1999.

**Bouwman, R., Verleg, A. (2001):** Driving on virtual rails, Öffentlichkeitsarbeit Advanced Public Transport Systems (APTS), Helmond 2001.

**Dual-Mode-Bus-Systeme (1975):** Studie im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie – Förderungskennzeichen NTÖ 121 und NTÖ 129; Verfasser: Dornier System, Dorsch Consult, Technischer Überwachungsverein Rheinland, Friedrichshafen/München/Köln 1975.





# **Anhang E**

## **Fahrwegkonstruktionen**



# E.1 Einleitung

## E.1.1 Vorbemerkung

Die Transportsysteme auf Basis moderner Bustechnologie varrieren zwischen Linienbusverkehr und Straßenbahnsystemen. Entsprechend groß sind auch die Variationen der Fahrwegkonstruktionen. Auf der einen Seite werden beim Linienbusverkehr standardisierte Oberbauten des allgemeinen Straßenverkehrs benutzt, auf der anderen Seite finden bei Straßenbahnsystemen Gleisroste vor allem mit Rillenschienen Verwendung. Zwischenstufen wie halbstarre Deckschichten bei starkem Linienbusverkehr oder Betonstraßen mit integrierter Monoschiene bei der Straßenbahn auf Gummireifen sind gleichfalls verwirklicht.

Bekanntlich erfordern die Schienenwege bei der Erstellung und auch bei der Instandhaltung einen vergleichsweise hohen baulichen Aufwand. Transportsysteme auf Gummireifen versprechen hier durch die Aufgabentrennung von Lastabtragung und Spurführung sowie moderaten Achslasten Vorteile bei dem Ziel einer wirtschaftlichen Fahrwegkonstruktion. Dies liegt im Wesentlichen darin begründet, dass eine Spurführung im Gegensatz zur Rad/Schiene-Technik kraftschlüssig erfolgt, d. h. alle Stellkräfte für die Seitenführung werden über den Reibschluss Gummirad/Fahrbahndecke aufgebracht. Folglich ist Verschleiß überwiegend nur in Form von Gummiabrieb zu erwarten.

Trotzdem bedürfen beispielsweise bei der Asphaltbauweise die Effekte der plastischen Deformation besonderer Beachtung. Beispielhaft genannt seien hier Längsunebenheiten im Bereich häufiger Brems- und Beschleunigungsvorgänge oder die Spurrinnenbildung bei spurfahrendem Verkehr.

Im Folgenden sollen bisherige Erkenntnisse bei der Nutzung von Verkehrsflächen vorgestellt werden, um das Verhalten der verschiedenen Bauweisen abschätzen zu können. Zielsetzung ist es, die zu berücksichtigenden Randbedingungen je nach Wahl des Oberbaus zu versachlichen, vor allem auch im Hinblick auf die systemspezifischen Kostenstrukturen.

## E.1.2 Anforderungen an Busverkehrsflächen

Die Fahrbahnoberfläche muss den Anforderungen eines sicheren Betriebs genügen. Neben fahrdynamischen Streckenparametern bestimmt insbesondere die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche den Fahrkomfort. Der Schienenverkehr bietet hier in Abhängigkeit von Instandhaltungsarbeiten einen sehr guten Fahrkomfort. Große Teile der Straßen des öffentlichen Wegenetzes befinden sich dagegen in einem schlechten Zustand und mindern die Attraktivität des Busverkehrs erheblich. Die Erhaltung eines einwandfreien Fahrbahnzustands des öffentlichen Wegenetzes sowie der ÖPNV-Sonderfahrstreifen ist in der Regel Aufgabe des Tiefbauamtes der Kommune. Für den Verkehrsbetrieb hat der Fahrbahnzustand bzw. die Gleislage direkte Auswirkungen auf den Fahrzeugverschleiß.

Anforderungen an die Eigenschaften einer Verkehrsfläche für Busse sind:

- Standfestigkeit,
- Ebenheit,
- Griffbarkeit,
- Rißsicherheit,
- einwandfreie Entwässerung,
- geringe Geräusch- und Erschütterungsemissionen,
- geringer Bau- und Wartungsaufwand,
- geringer Aufwand für Reinigung und Winterdienst,
- Stadtbildverträglichkeit (Busverkehrssystem 1992, 4.44).

## E.1.3 Bauklasse nach den RStO 01

Busverkehrsflächen, hier Fahrgassen in einer Umsteiganlage, werden nach den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO 01) der Bauklasse III zugeordnet, allerdings mit dem Hinweis, dass bei besonders starker Verkehrsbelastung eine entsprechend höhere Bauklasse gewählt werden kann. Es wird empfohlen, bei höher frequentierten Bushaltestellen und in häufig befahrenen Fahrgassen (150 Busse/Tag) einen Fahrbahnaufbau nach Bauklasse II (RStO 01) zu wählen, um dauerhaft Setzungen und die Bildung von Spurrinnen durch die Achslasten der Tragreifen zu vermeiden. Pflasterdecken scheiden bei den weiteren Betrachtungen aus, da sie nach Maßgabe der RStO 01 nur für die Bauklassen III bis VI geeignet sind.

### E.1.4 Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung

Nach den RStO 01 können Verkehrsflächen besonderen Beanspruchungen unterliegen, z. B.

- bei spurfahrenden Verkehr und enger Kurvenfahrt,
- bei langsam fahrenden Verkehr,
- bei häufigen Brems- und Beschleunigungsvorgängen,
- bei Standverkehr oder Stop-and-go-Verkehr.

Das o. g. Belastungsprofil ist vergleichbar mit den besonders beanspruchten Verkehrsflächen der unkonventionellen Transportsystemen zwischen Bus und Bahn. Die Auswirkungen der Beanspruchungen werden durch klimatische Einflüsse, wie besonders hohe Temperaturen über längere Zeiträume oder intensive Sonneneinstrahlung, noch verstärkt. Es ist dann zu prüfen, ob den besonderen Beanspruchungen bei der Wahl der Baustoffe, der Zusammensetzung und der Herstellung einzelner Schichten des Oberbaues Rechnung getragen werden muss, um die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit der Fahrbahn zu gewährleisten (RStO 01, S. 11).

*Spurfahrender Verkehr* (sowie Steigungsstrecken) fließen nach der RStO 01 durch die Ermittlung der Verkehrsbelastungszahl direkt in die Bemessung der Schichtdicken ein; die übrigen besonderen Belastungen müssen gegebenenfalls durch baustofftechnologische und/oder bautechnische Optimierungen berücksichtigt werden. Die besonderen Beanspruchungen wirken sich vornehmlich auf die Entstehung und Entwicklung bleibender Verformungen in Quer- und/oder in Längsrichtung bei Bauweisen mit Asphaltdecke aus.

Bei *permanent spurgeführten Transportsystemen* mit Straßenfahrwerken gibt es gesicherte Erkenntnisse über die Eigenschaften des Oberbaus nur bei der O-Bahn – zum Einsatz kam aber bei diesem System ausschließlich eine Stahlbeton-Fertigteilkonstruktion. In einem ersten Schritt könnte deshalb näherungsweise bei der Ermittlung einer geeigneten Asphaltbauweise das Belastungsprofil spurfreier Straßenfahrwerke im Haltestellenbereich angesetzt werden, da hier zwar nicht spurgeführt, aber zumindest „in Spur“ gefahren wird. Ableiten ließe sich so mit der Bauklasse II in Anlehnung an die RStO 01 ein standardisierter, wirtschaftlicher Asphaltoberbau für spurgeführte Bussysteme – zumindest für die fließende Fahrt auf freier Strecke.

### E.1.5 Ergänzende Regelwerke

Bei Asphaltbauweisen mit *besonderer Beanspruchung* werden günstige Oberbaueigenschaften über einen langen Nutzungszeitraum angestrebt. Um dies zu erreichen, wird in zahlreichen Untersuchungen durch das Variieren einzelner Komponenten – Füller, Brechsand, Kies, Splitt, Bitumen, Hohlräumen – und dem Einsatz von Bindemitteln mit verbesserten Eigenschaften versucht, Asphalte zu entwickeln, die den besonderen Beanspruchungen besser gerecht werden.

Es sei in diesem Zusammenhang auf die ZTV Asphalt-StB (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) hingewiesen. Aufgestellt sind Hinweise für die Zusammensetzung, die Herstellung und den Einbau von Asphaltbinderschichten für Straßen der Bauklasse SV und I sowie für Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung und die Empfehlungen für die Zusammensetzung, die Herstellung und den Einbau von Splittmastixasphalt (SMA).

Ergänzend wurden in einer Broschüre des Deutschen Asphaltverbandes „Asphalt für schwerste Beanspruchungen – Qualitätssicherung“ die Maßnahmen für die Qualitätssicherung bei der Eignungsprüfung, bei der Herstellung und beim Einbau aufgezeigt, die geeignet sind, Fehler und Schäden zu vermeiden. Für die Unternehmen, die Asphalt herstellen oder Oberbauarbeiten im Straßenbau ausführen, hat die FGSV-Kommission „Qualitätssicherung im Straßenbau“ in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Asphaltverband bzw. mit dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie als weitere Hilfestellung zwei Leitfäden erarbeitet. Der Leitfaden Qualitätsmanagement „Asphalt-Herstellen“ und der Leitfaden für das Qualitätsmanagement im Straßenbau „Teil: Oberbauarbeiten“ sind ein weiterer Beitrag zu Qualitätssicherung (PREDEL 1998, S. 226).



## E.2 Oberbauvarianten für Busverkehrsflächen

### E.2.1 Bauweisen für den fließenden Verkehr

- **Splittmastixbelag**

Für standfeste Deckschichten eignen sich vor allem Splittmastixbeläge, die sich von herkömmlichem Asphaltbeton durch sehr hohe Splittgehalte und Ausfallkörnung mit einer geringen spezifischen Kornoberfläche sowie bitumenreiche, gegen Entmischung mit Zusatzstoffen stabilisierte Mörtel unterscheiden. Der hohe Splittgehalt führt im verdichteten Zustand zu einem in sich abgestützten, fest verspannten Splittgerüst hoher Standfestigkeit, das durch einen steifen Mörtel auf die Dauer aufrecht erhalten wird. Ein derartiger Asphalt weist nur noch einen geringen Hohlraumgehalt auf und durch die Lagerungsdichte und Korngrößenverteilung ist der Widerstand gegen bleibende Verformungen hoch.

HUTSCHENREUTHER und WÖRNER (1998) geben an, dass die in der ZTV Asphalt StB-94 angegebenen Bereiche zur Erstellung einer Eignungsprüfung und somit zur Mischgutrezeptur relativ weit gefaßt sind. Da aber dieser Spielraum in der Zusammensetzung des Mischgutes nicht immer dazu benutzt wurde, dem Splittmastixasphalt entsprechende Standfestigkeit und optimale Zusammensetzung des Mineralstoffgemisches zu verleihen, wurden durch die FGSV wiederholt „Empfehlungen für die Zusammensetzung, die Herstellung und den Einbau von Splittmastixasphalt“ veröffentlicht. Besonders hervorzuheben sind:

- mögliche Verwendung von höherviskosem Bindemittel,
- eine stärkere Orientierung auf Verwendung von grobem Korn,
- höhere Mindestfüllergehalte,
- höhere Mindestbindemittelgehalte.

Ein solcher Splittmastixasphalt ist den Verkehrsbeanspruchungen eines dichten Busverkehrs auf normaler Strecke ohne Weiteres gewachsen. Vorteilhaft bei der Verwendung dieses sehr verformungsarmen Asphalt-oberbaus ist, dass es sich hierbei um eine gängige Straßenbautechnik handelt, die in hohem Maße verfügbar ist und damit große Vorteile bei Erhaltungsmaßnahmen hat. Die Aufnahme hoher Verkehrsbeanspru-

chung kann mit den handelsüblichen Straßenbaubitumen nach DIN 1995 beziehungsweise mit einem hochviskosen polymermodifizierten Bindemittel entsprechend den Technischen Lieferbedingungen (TL PmB) erzielt werden. Darüber hinaus sind für besondere verkehrliche Aufgaben Sonderbindemittel und Sonderbauweisen entwickelt worden.

- **Splittmastixbelag mit Sonderbindemittel**

Ein Splittmastixbelag mit hoch polymermodifiziertem Bitumen (HPmB, außerhalb der TL PmB) könnte die Ermüdungs- und Standfestigkeit weiter erhöhen und damit die Ermüdungsrissbildung und die Bildung von Spurrinnen der Asphalte stark reduzieren. Durch die Modifizierung des Bitumens mit Polymeren werden nachweislich die Bitumeneigenschaften und die Gebrauchseigenschaften der mit ihnen hergestellten Asphalte verändert. RENKEN und SCHÄFER (1998, S. 61) weisen bei Asphalte mit Sonderbindemittel daraufhin, dass im Allgemeinen ihre Herstellung nur gelingen wird, wenn alle Beteiligten die trivialen wie unabdingbaren Qualitätsfaktoren wie

- Ausführung nur in der günstigen Jahreszeit
- Auswahl geeigneter Bindemittel und Mineralstoffe,
- Aufstellen von Eignungsprüfungen mit Zusatzuntersuchungen,
- zusätzliche Eingangskontrollen der Zuschlagstoffe,
- erhöhte Eigenüberwachung der Mischgutproduktion,
- absolut gleichmäßige Mischgutproduktion und
- Einbau und Verdichtung der Asphaltsschicht

mit größter Sorgfalt und Verantwortungsbewusstsein im Sinne der Bauweise unbedingt einhalten.

In einer Untersuchung des „Lehr- und Forschungsgebiets Straßenentwurf und Straßenbau“ an der Bergischen Universität Wuppertal, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Beckedahl, sind aktuell die Sonderbindemittel Sealoflex 5-50 (Ooms) und Styrelf 26 (Elf) einer Untersuchung unterzogen worden. Beachtenswert ist, dass beim Spurbildungsversuch mit diesen hoch polymermodifiziertem Bitumen Spurrinntiefen erreicht wurden, die über 50% geringer waren, als die mit herkömmlichen Straßenbaubitumen B 65 erreichten Spurrinntiefen. Asphalte sind als sehr standfest einzustufen, wenn bei dem Spurbildungsversuch Spurtiefen von kleiner als 3,5 mm erreicht werden. In der Praxis erleiden derartige Asphalte erfahrungsgemäß nur geringe Spurrinnen. Die beiden untersuchten Splittmastixasphalte mit hoch polymermodifiziertem Bitumen hatten weitaus niedrigere Spurrinnen. Ergänzende Untersuchungen mit einem viskositätsvermindernden Bitumenadditiv (Sasobit) sollen darüber hinaus zeigen, dass ein geringerer Verdichtungswiderstand beim Einbau die spätere Nachverdichtung unter rollendem Verkehr nicht fördert.

Insgesamt kann festgestellt werden, das hoch polymermodifizierte Bitumen für die Zukunft durchaus eine Innovation darstellen können und die Performance-Eigenschaften insbesondere die Stand- und Ermüdungsfestigkeit von Asphalt nachweislich verbessern (ABODAHAB 2001, S. 75). Damit könnte der Einsatz eines Splittmastixasphalts mit hoch polymermodifizierten Bitumen und Bitumenadditive als verformungsresistente Verkehrsfläche für spurgeführte Transportsysteme zwischen Bus und Bahn in Erwägung gezogen werden.

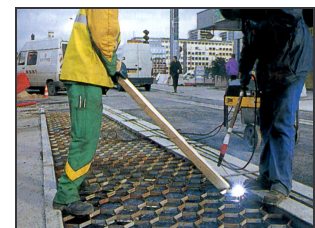
Ein vergleichbares Sonderbindemittel ist auch Esso Multigrade. Es ist deutlich unempfindlicher gegenüber Temperaturveränderungen als ein Straßenbaubitumen. Bei Temperaturen über 60 C° ist es höher viskos als konventionelle Bindemittel und somit besser resistent gegen Spurbildungen. Bei tieferen Temperaturen hat es einen günstigeren „Verhärtungsverlauf“ und neigt dadurch weniger zur Rißbildung. Dieses Bindemittel kann insbesondere Anwendung finden bei ÖPNV-Sonderfahrstreifen, auch bei Standverkehr, sowie auf Spuren mit langsam fließendem Schwerverkehr und dünnen Deckschichten (HUTSCHENREUTHER, WÖRNER 1998, S. 66). Darüber hinaus stehen zwei spezielle Bauweisen zur Verfügung, die am französischen Markt Eingang gefunden haben.

- **Métalflex–Belag**

Die französische Autobahnbetreibergesellschaft Screg Est entwickelte in Zusammenarbeit mit den Bauunternehmungen Colas und Jean Lefebvre ein Verfahren, das sie auf Mautstrecken von Autobahnen benutzt, die starken Abbrems- und Beschleunigungsvorgängen von Fahrzeugen unterworfen sind.

Ihr patentiertes System Métalflex besteht aus einem unterstützenden metallischen „Wabenmuster“, welches auf der Binderschicht mattenartig ausgebreitet und schließlich von der Asphalt-Deckschicht ausgefüllt wird. Als Gerüststreben des Wabenmusters dienen Winkeleisen, die zu einem Sechseckrahmen (Kantenlänge rund 8 cm) verbunden werden. Die Wahl eines Winkelprofils erhöht die Standfestigkeit der Gerüststreben und verhindert ein Einstanzen. Beim Überfahren von schweren Rädern wird die von dem dreidimensionale Wabenmuster umschlossene Deckschicht waagrecht festgeklemmt, in ihrer Ausdehnung behindert und kann sich daher nicht mehr verformen (**Bild E.1**).

In Nancy ist bei dem Fahrzeugtyp GLT/TVR erstmalig das metallische Wabenmuster auf der Binderschicht einer Busverkehrsfläche mit Monoschiene zum Einsatz gekommen und mit einer Asphalt-Deckschicht versiegelt worden. Aussagen über das Verschleißverhalten sind nicht möglich, da der GLT/TVR in Nancy wegen fahrzeugtechnischer Probleme erst eine geringe Laufleistung aufweist.



**Bild E.1:** Vor dem Einbau der Asphaltdeckschicht wird das Wabenmuster verschweißt. (LA VIE DU RAIL)

- **Halbstarre Deckschichten**



**Bild E.2:** Halbstarre Deckschicht. Deutlich sind Zementschleier des eingerüttelten Zement-Kunststoff-Bindemittels auf dem Randbord zu erkennen.

Den Übergang zur Betondecke bildet eine Bauweise, die dennoch in der Anwendung einem Sonderasphalt ähnelt: der halbstarre Belag. Beispielsweise entwickelte die Gesellschaft Indusvia d'Eurovia einen verformungsresistenten Oberbau, welcher in erster Linie in Lagerbereichen von Industriestandorten benutzt wird und aus einem außertauglichen Industriefußboden weiter entwickelt wurde. Der Oberbau schließt neben bodenverfestigenden Maßnahmen und einer verstärkten Binderschicht eine Deckschicht von 4 cm Percolé-Umhüllung mit ein. Bei dem Percolé-Belag wird ein mit Bitumen umhüllter einkörniger Splitt verwendet und der Mörtel mit einem Zement-Kunststoff-Bindemittel anschließend in die Hohlräume eingerüttelt. Der Belag wird fugenlos hergestellt und ist hitzebeständig (**Bild E.2**).

Eine derartige halbstarre Deckschicht ist beim GLT/TVR-System u. a. über eine Streckenlänge von 3,3 km in der Fußgängerzone von Nancy eingebaut worden. Beachtenswert ist der Gebrauch des Percolé-Belags auch auf dem Busverkehrssystem Petite Ceinture (PC) in Paris, südlich des Boulevard des Maréchaux. Eine Spurrinnenbildung ist bei diesem mit Agora-Gelenkbussen in dichter Taktfolge befahrenen ÖPNV-Sonderfahrstreifen bisher noch nicht erkennbar. In Solingen ist ebenfalls ein Abschnitt bei der Zufahrt zum Busbahnhof mit einem halbstarren Belag gebaut worden. Auch hier sind Spurrinnen trotz des schweren Obusbetriebs nicht feststellbar.

Problematisch bei der Verwendung von halbstarren Belägen ist die Notwendigkeit einer Aufbereitungsanlage vor Ort zur homogenen Vermörtelung des Stützgerüsts. Insbesondere bei Reparaturarbeiten fallen im Regelfall zu geringe Massen an, als dass sich das Einrichten einer Aufbereitungsanlage rechtfertigen ließe. Es wäre Leitungsfreiheit erforderlich, um dauerhaft Reparaturarbeiten an der Verkehrsfläche zu vermeiden.

## **E.2.2 Bauweisen bei Haltestellenanlagen und Standverkehr**

Für Fahrgassen an Haltestellen gelten höchste Anforderungen, ist hier doch neben der Verkehrssicherheit des allgemeinen Straßenverkehrs auch ergänzend der Spritzschutz wartender Fahrgäste, eine fixe Lage des Haltestellen-Formsteins und darüber hinaus die Vermeidung von Quer- und Längsunebenheiten dauerhaft sicherzustellen. Die Anforderungen an die Verkehrsflächenbefestigung im Bereich eines Knotenpunkts, wo gegebenenfalls mit Standverkehr gerechnet werden muss, sind vergleichbar.

*Unebenheiten in Querrichtung* entstehen durch das Spurfahren beim präzisen Ansteuern eines Haltestellen-Formsteins (Spurrineneffekt).

*Unebenheiten in Längsrichtung* entstehen durch häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge bzw. Vibrationsbelastungen eines stehenden Fahrzeugs. Bei Asphaltoberbauten sind die Unebenheiten in Längsrichtung gerade in den Anfahrbereichen stärker ausgeprägt als im Bremsbereich, da es auf den ersten Startmetern insbesondere bei Fahrzeugen mit hoher Achslast und einem hohen Anfahrtdrehmoment zu hohen Schubspannungen in der Asphaltdecke kommt.

Die zu erwartende plastische Deformation im Bereich der Abrollflächen könnten akzeptiert werden, sofern eine effektive Erhaltungsplanung betrieben wird. Da es sich bei den hier zu betrachtenden Fahrzeugen zwischen Bus und Bahn u. a. um Fahrzeugtypen mit einem drehmomentstarken elektrischen Antrieb oder mit nur einer hochmotorisierten Achse handelt – unabhängig davon, ob spurgeführt oder spurfrei –, sollte aber vielmehr ein verformungsresistenter Betonbelag (oder ein spezieller Asphaltbelag) zum Einsatz kommen.

- **Betonbelag**

Bei der Erneuerung der Befestigung von Haltestellen gewinnt die Betondecke in den letzten Jahren an Bedeutung, auch wenn die Investitionskosten mindestens um 30% über den Kosten für eine Bauweise mit Asphaltdecke liegen (**Bild E.3**). Betonbeläge können insbesondere dann angewendet werden, wenn der Untergrund und die Situation im Bereich der Versorgungsleitungen es zulassen. Nachträgliche Tiefbauarbeiten sind zu vermeiden, aber – anders als z. B. bei halbstarren Deckbelägen – durch das Herausschneiden von Betonsegmenten und Wiedereinfügen mittels Klebedübel grundsätzlich möglich.

Eine ansprechende Ebenheit des Betonbelages kann bei dem Einsatz von Ortbeton nur erreicht werden, wenn den Schalungsschienen beim Abziehen und Glätten der frischen Betondeckenoberfläche besondere Beachtung geschenkt wird. Im Regelfall wird man eine fugenlose Betondecke einbauen und die erforderlichen Scheinfugen mit bitumenhaltigen Vergussmassen schließen. Bei der Verwendung von frühhochfestem Straßenbeton mit Fließmittel könnte die Verkehrsfreigabe einer Haltestelle bereits nach zwei Tagen mit vorgeschriebener Festigkeit erreicht werden. Zu beachten ist, dass der Einsatz von Fließbeton bei ausgeprägtem Schräggefälle problematisch wird. Nicht zu unterschätzen ist eine sorgfältige nächtliche Absperrung der Baustelle, um beim Abbinden des Frischbetons den Zugang Unbefugter auszuschließen. Im Bereich der Anschlussfugen zu Asphaltdeckenteilen sind Hohlräume durch Auflockerungen zu vermeiden und eine homogene Verdichtung zwischen gestandenem und betoniertem Oberbau zu schaffen. Dauerhaft höhen- und spaltgleiche Anschlussfugen können Mithilfe eines Betonendsporns hergerichtet werden.



**Bild E.3:** In Solingen werden im Haltestellenbereich aufgrund drehmomentstarker Obus-Antriebe sowie hoher Achslasten überwiegend Betondecken eingebaut.



Bei einer qualitativ vollen Herstellung verspricht der Betonbelag im Bereich von Busverkehrsflächen eine sehr hohe Nutzungsdauer aufgrund der hohen Festigkeit. Die auftretenden Verformungen sind marginal. Es entstehen keine Spurrinnen, Querwellen oder Verdrückungen.

#### • Asphaltbeläge



**Bild E.4:** Standfester, polymermodifizierter Asphaltbelag im Haltestellenbereich. Man beachte die körnige Oberfläche der Asphaltdecke, hervorgerufen durch den hohen Splittgehalt. (LOHR INDUSTRIE)

Sofern bei der Herstellung des Mischgutes für einen Splittmastixasphalt auf die Homogenität des Bindemittelträgers geachtet und bei der Bindemittelsorte ein eher härteres Bitumen ausgewählt wurde, liegen gute Erfolge im Haltestellenbereich bei einem Linienbusverkehr ohne örtliche Besonderheiten und eher geringerer Haltehäufigkeit vor.

Eine bestmögliche Funktionalität mit akzeptablen Folgekosten kann allerdings bei der Wahl eines gängigen Asphaltbelags und bei dem Einsatz von Fahrzeugen zwischen Bus und Bahn, die in dichter Taktfolge verkehren, die zulässige Achslasten ausnutzen und überdies hochmotorisiert sind, nicht erwartet werden. Vielmehr zeigt sich bei Standverkehr ein geeigneter Erprobungsbereich zum Beispiel des hoch polymermodifizierten Splittmastixasphalts oder des Métalflex-Belags – sofern nicht von vornherein auf einen Betonbelag zurückgegriffen wird (**Bild E.4**).



**Bild E.5:** Nachträglich eingebauter Betontrög. Die Monoschiene liegt zum Einbau bereit. (LOHR INDUSTRIE)

Alternativ bietet sich auch der Einbau eines gewalzten Gußasphaltes an. Besonders resistent gegen Spurrinnenbildung ist Gußasphalt, wenn zur Erhöhung der Standfestigkeit die Sandkomponente ausschließlich aus Edelbrechsand besteht und ein polymermodifiziertes Bindemittel Verwendung findet. Als Füller werden schwach versteifende Gesteinsmehle ausgewählt.

### E.2.3 Busverkehrsflächen mit Beton-Gleitschalungstechnik

Eine geeignete Verkehrsflächenbefestigung für gummibereifte Bahnen mit mechanischer Spurführung, z. B. Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen, ist zweifelsohne eine Betonfahrbahn in Gleitschalungstechnik, die es als monolithisches Gefüge auch erlaubt, die Monoschiene äußerst präzise einzumessen und in Abgleichung der Abrollfläche zu verlegen. Außerdem kann die Aussparung des mittigen Schienentrogs bereits beim Betonieren berücksichtigt werden und muss nicht nachträglich eingebaut werden (**Bild E.5**). Aus Gründen der Kostenreduzierung wird neuerdings selbst bei der Erstellung von Straßenbahn-Infrastruktur die Gleitschalungstechnik erprobt (**Bild E.6**).



**Bild E.6:** Gleitschalungstechnik im Straßenbahnbau. Die Rippenplatten werden automatisiert in den frischen Beton eingerüttelt. (ALSTOM)

Die Beton-Gleitschalungstechnik bietet eine sehr hohe Verlegegenauigkeit. Sie ist empfehlenswert, da sich jede horizontale und vertikale Lageungenauigkeit sofort auf den Wagenlauf auswirkt, wie sich dies nicht



zuletzt bei dem Testbetrieb der Bauarten Translohr und GLT/TVR auf der TVM in Paris zeigte.

Auf der Teststrecke in Duppigheim hat Cogifer TF bisherige Erfahrungen im Bereich Spurführung, Einbautechnik, Fertigertyp und spezieller betontechnologischer Anforderungen, abgestimmt auf das Lohr-Fahrzeug, umgesetzt. Eingebaut ist eine kunststofffaserverstärkte Betonstraße mit Querscheinfugen, die aufgrund der höhengenaue Fertigung einen hohen Fahrkomfort bietet (**Bild E.7**). In der Verschleißschicht ist man darauf angewiesen, keine Stahlfasern zu verwenden, um Beschädigungen der Gummireifen zu vermeiden. Hier können zum Beispiel Polipropylenfasern zur Reduzierung möglicher Schwindrisse eingesetzt werden. Cogifer TF experimentiert auch mit den Möglichkeiten des Betoneinfärbens: Ein dunklerer Beton hätte den Vorteil, dass Schmiermittel und ölige Substanzen nicht mehr deutlich sichtbare Verschmutzungen hinterließen.



**Bild E.7:** Kunststofffaserverstärkte Betonstraße mit Scheinfugen, Translohr-Teststrecke in Duppigheim

Generell ist bei der Verwendung der Gleitschalungstechnik wichtig, dass bei der Trassenplanung auch die Bauausführung im Auge behalten wird. So ist es zum Beispiel nicht ohne weiteres möglich, enge Kurven mit Radien kleiner 30 m in Gleitschalungstechnik zu betonieren. Für kleinere Kurvenradien müssen einfache Schalungen gestellt werden, die von dem Gleitschalungsfertiger überfahren werden.

Nach den Erkenntnissen aus dem Straßenverkehrswegebau sowie dem Betrieb des Essener Spurbusses kann bei der qualitätsvollen Verwendung der Betontechnologie grundsätzlich von *äußerst* wartungsarmen Fahranlagen gesprochen werden. Ganz wesentlich für das Langzeitverhalten ist hierbei eine kontinuierliche Auflagerung, um Pumperscheinungen zu vermeiden.

#### E.2.4 Fertigteilbauweise bei unabhängigem Fahrweg

Bei einem unabhängig geführten Schnellfahrweg, der von anderen Verkehrsteilnehmern nicht gequert wird, bietet sich das bewährte Prinzip der O-Bahn an. Die in Essen und in Adelaide eingesetzte Stahlbeton-Fertigteilkonstruktion der Spurbus-Fahrbahn Bauart Züblin besteht im Regelfall aus Querträgern, auf denen die Fahrweegelemente mit integrierten Leitborden verlegt werden (vgl. NIEMANN, SACK 1983, S. 54-61, **Bild E.8**).



**Bild E.8:** Einbau der Fahrwegbauteile beim Spurbus Essen (ESSENER VERKEHRS-AG)

Die Querträger liegen auf je zwei Bohrpfehlen auf, die als Fundament dienen. Die Länge der Fahrweegelemente beträgt bis 12 m, die in den Kurven entsprechend gekrümmt werden. Die Breite der Fahrbahnelemente wird entsprechend der erforderlichen Breite der Aufstandsfläche der Zwillingsreifen bemessen. Der Zwischenraum zwischen den Fahrweegelementen von rund 1.20 m kann unversiegelt belassen und begrünt werden. Die Querträger, die jeweils die Fahrweegelemente nach Möglich-



**Bild E.9:** Teilweise werden die Fertigteil-Stöße wie bei einem Schienen-Auszug angeordnet (Spurbus Essen).

keit für beide Fahrtrichtung aufnehmen, werden jeweils unter den Stößen der Fahrweegelemente angeordnet (**Bild E.9**). Zur Verringerung der Bauteildimensionierung der frei tragenden Fahrweegelemente sind jeweils zwei weitere Querträger zur Reduzierung der Feldmomente angeordnet. Die Befestigung der Querträger erfolgt mittels Spannklemmen, wie sie auch bei der Befestigung von Schienen auf Schwellen üblich sind (EVAG 1995, S. 16).

Auf der Trasse stillgelegter Bahnstrecken mit einem vorverdichteten Untergrund können die Fahrbahnbalken kostengünstiger auf eine bewehrte Betonplatte kontinuierlich aufgelagert werden (Flächengründung Bauart Züblin, EVAG 1988, S. 18).

Ein Stahlbetonfahrweg in Fertigteilbauweise benötigt im Regelfall außer den üblichen Routinekontrollen keine Unterhaltung. Die Fahrwege haben sich, unter Voraussetzung eines direkten Kräfteabtrages in einen lastaufnahmefähigen Untergrund, ohne Verschleißschäden mit einer nach wie vor hohen Laufqualität im Langzeitbetrieb bewährt. Die Spurbusstrecke Fulerumer Straße in Essen kann nunmehr 20 Jahre Betriebseinsatz vorweisen und zeigt die Dauerbeständigkeit der gewählten Stahlbeton-Fertigteilausführung. Einzelne Setzungen von Fundamentierungen konnten durch Hebung und Verpressen leicht beseitigt werden (AHLBRECHT 1992, S. 7).

### **E.2.5 Fertigteilbauweise bei Mischbetriebsfahrweg**

Die Fertigteil-Konstruktionen des Spurbusfahrweges richten sich nach den örtlichen Gründungsverhältnissen – bei Mischbetriebsstrecken mit Schienenfahrzeugen darüber hinaus auch nach den Belangen des Gleisweges. Bei der Mitbenutzung vorhandener Schienenstrecken mit Schottergleisbett wird bei der Bauart Züblin das gleiche Lastabtragungsprinzip vorgeschlagen, wie bei den spurgeführten, reinen Omnibusfahrwegen in Essen-Kray und Adelaide, ebenfalls Bauart Züblin.

Bei der Konstruktion des Mischbetriebsfahrweges ist ein direkter Kräfteabtrag auf einen lastaufnahmefähigen Untergrund die wesentliche Voraussetzung einer Adaption der bewährten Stahlbeton-Fertigteilbauweise und der statischen und dynamischen Entkoppelung vom elastischen Gleisrost des Schienenweges. Des Weiteren sollte der Mischbetriebsfahrweg für Instandhaltungsarbeiten am Gleisbett schnell und problemlos demontierbar sein.

Auf beiden Abrollseiten dient der Schienenkopf als Lauffläche für den inneren Zwillingsreifen der Busse. Die Benutzung der Schiene als Aufstandsfläche für den inneren Zwillingsreifen hat zumindest beim Essener Spurbus zu keinerlei Beeinträchtigungen im Betrieb oder zu höherem Reifenverschleiß geführt (EVAG 1995, S. 16).

## E.3 Technische Sonderfragen

### E.3.1 RUBIS: Spurrinnenbildungsversuch

Bei Asphaltstraßen entstehen, gefördert durch *spurfahrenden* Verkehr, Spurrinnen, die die Verkehrssicherheit des allgemeinen Straßenverkehrs durch Aquaplaning sowie bei einem Fahrbahnwechsel aufgrund des „Leitschieneneffektes“ bei steileren Flanken von Spurrinnenmulden beeinträchtigen. Bei der Personenbeförderung mit spurfahrenden Fahrzeugen auf einem eigenen Sonderfahrstreifen hat eine leichte Spurrinnenbildung allerdings keinen negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit oder den Fahrkomfort. Es muss aber sichergestellt sein, dass Aquaplaning, ein Überfrieren in Kältemonaten und eine Gefährdung querender Verkehrsteilnehmer an Knotenpunkten ausgeschlossen werden können.

Offen bleibt aber die Frage, ob Asphaltstraßen auch bei *spurgeführten* Fahrzeugen geeignet sind. Es wird hierbei befürchtet, dass durch das völlig spurtreue Abrollen über immer die gleiche Asphaltspur ein plastischer Bruch auftreten könnte. Da zu dieser Fragestellung noch keine aussagekräftige Untersuchungen in situ durchgeführt worden sind, ist in der französischen Rundlaufanlage von Nantes (Manège de Fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) die Spurrinnenbildung mit einer Reifenpressung entsprechend der Fahrzeugkonzepte Translohr, Civis und GLT/TVR simuliert worden (**Bild E.10**).

Das Versuchsprogramm ist Bestandteil des europäischen Forschungsprojekts RUBIS und wurde u. a. von den Fahrzeugherstellern Lohr Industrie (Translohr), Renault V.I./ Matra Transport International (Civis), Spie Enertrans/Bombardier Eurorail/ANF Industrie (GLT/TVR) im Rahmen der GIE-TVM (Groupement d'Intérêt Economique - Trans Val de Marne) finanziert.

Drei verschiedene französische Asphalt-Bauunternehmungen (Gerland, Jean Lefebvre, Screg) haben hierbei jeweils einen Sektor der Kreisfläche der Rundlaufanlage zugewiesen bekommen und in diesen auf einen einheitlichen Unterlage Deck- und Binderschichtvarianten eingebaut. In Vereinbarung mit dem GIE-TVM sind 100.000 Lastwechsel festgelegt worden, die entsprechend den gewählten Randbedingungen in etwa das Belastungsprofil eines Regelbetriebs über 7 Jahre darstellen.



**Bild E.10:** Rundlaufanlage in Nantes. Im Vordergrund ist ein Sektor mit einer Asphaltbefestigung zu erkennen, im Hintergrund sieht man die helle Oberfläche des ebenfalls erprobten Percolé-Belages. (LA VIE DU RAIL)



Bild E.11: Reifen des Translohr  
(LA VIE DU RAIL)



Bild E.12: Reifen des GLT/TVR  
(LA VIE DU RAIL)



Bild E.13: Supersingle-Reifen  
des Civis (LA VIE DU RAIL)



Bild E.14: Mikrorisse müssen  
bei einem halbstarren Belag in  
Kauf genommen werden.

Nach Abschluß der vorgegebenen Lastwechsel, die bei Asphalttemperaturen teilweise über 40 °C durchgeführt worden sind, ist

- beim *Translohr* (**Bild E.11**) eine Spurrinntiefe von 2,5 bis 3,5 mm bei einer Reifenpressung von 0,70 MPa (7 kg/cm<sup>2</sup>; Achslast: 7 t)

bei den Deck- und Binderschichtvarianten zu beobachten gewesen. Auch bei den anderen Fahrzeugtypen stellte sich die Gleichwertigkeit der Deck- und Binderschichtvarianten durch gleiche Spurrinntiefen heraus. Es waren folgende Werte zu beobachten:

- *Bauart GLT/TVR* (**Bild E.12**): Spurrinntiefe von 2,5 bis 6,5 mm, Reifenpressung entspricht 0,95 MPa (9,5 kg/cm<sup>2</sup>; Achslast 8 t);
- *Bauart Civis* (**Bild E.13**): Spurrinntiefe von 2,5 bis 5 mm, Reifenpressung entspricht 0,90 MPa (9,0 kg/cm<sup>2</sup>; Achslast 10 t);
- *Referenzbelastung*: Spurrinntiefe von 3,0 bis 5 mm, Reifenpressung entspricht 0,85 MPa (8,5 kg/cm<sup>2</sup>; Achslast 8,5 t).

Die Werte sind über einen Beiwert korrigiert, um den Einfluss der Fliehkraft bei der Rundlaufanlage auszuschließen.

Bei der Vorstellung des Ergebnisberichts „L' Essais d'Orniérage TVM sur le Manège de Nantes, Juillet-Septembre 1999" in Triest ist die Rede von zufriedenstellenden Versuchsergebnissen bei allen Deck- und Binderschichtvarianten – egal welcher Fahrzeugtyp eingesetzt wurde. Die verformungsresistenteste Asphaltdeckschicht der Erprobung ist von dem Unternehmen Jean Lefebvre mit einem 6 cm dicken BB 0/14 (Béton bitumineux) eingebaut worden. Die Spurrinntiefe liegt bei dieser Asphaltdeckschicht bei allen Fahrzeugtypen im Mittel zwischen 2,25 bis 2,75 mm. Günstige Randbedingungen hinsichtlich des Reifeninnendruckes und der Reifenpressung werden dem Civis und dem Translohr im Vergleich zum GLT/TVR zugesprochen. Standverkehr wurde nicht berücksichtigt.

Eine Bauunternehmung hat eine 6 cm Asphaltdeckschicht mit einem Zementguss (Percolé-Belag bzw. halbstarre Belag) zusätzlich verhärtet. Hierbei war eine Spurrinntiefe von weniger als 0,5 mm bei allen Belastungsannahmen festzustellen, wengleich auch die bei halbstarren Deckschichten unvermeidlichen Mikrorisse festzustellen waren (**Bild E.14**).

Die Resultate aus der Rundlaufanlage in Nantes zeigen deutlich, dass bei spurgeführtem Verkehr und mittleren bis hohen Achslasten eine Modifizierung des Mischgutes erforderlich ist. Bei dieser Form der besonderen Beanspruchung muss beispielsweise durch polymermodifiziertes Bindemittel, höheren Hohlraumgehalt sowie durch Auswahl der Mineralstoffe und des eingesetzten Größtkorns der innere Zusammenhalt erheblich erhöht werden.



### E.3.2 Temperatenausgleich bei Asphaltbefestigungen

Bei den höherwertigen Bauklassen sind in den RStO 01 auch Bauweisen großer Asphaltstärke (Asphaltdecke einschließlich Asphaltbinderschicht und Asphalttragschicht) aufgeführt.

Bisherige Erkenntnisse beispielsweise bei dem schweren Obusbetrieb Solingen zeigen allerdings, dass bei Asphalt auf Deck-, Binder- und Tragschichten großer Gesamtdicke verzichtet werden sollte, sofern auf einen gleichwertigen Oberbau zurückgegriffen werden kann. Gerade bei besonders hohen Temperaturen über längere Zeiträume oder intensiver Sonneneinstrahlung ist kein angemessener Temperatenausgleich möglich. Infolge dessen erwärmt sich der Asphalt über mehrere Tage hinweg auf und ist – bedingt durch den Wärmestau – eher verformungsanfällig, als dies bei höherwertigem Asphaltbinder- und Asphalttragschichten mit geringerer Gesamtdicke der Fall wäre (KOSIEDOWSKI 2001).

Bei der Anwendung der RStO 01 sollte deshalb aus der ermittelten Bauklasse eine Bauweise mit eher geringerer Asphaltstärke ausgewählt werden. Anzumerken ist, dass die Bauweisen mit Asphaltdecke gemäß den RStO 01 nach dem Grundsatz weitgehend technischer Gleichwertigkeit festgelegt sind. Eine Bauweise mit eher geringerer Asphaltstärke kann – sofern der gleichen Bauklasse zugeordnet – die Verkehrsbelastung genauso ohne strukturelle Schäden aufnehmen. Eine weitere Lösung dieser Problematik bieten möglicherweise auch dünne Asphaltschichten mit Sonderbindemittel im Zusammenspiel mit einer ergänzenden starren Tragschicht, beispielsweise mit hydraulischem Bindemittel.

### E.3.3 Leitungsfreiheit und Fahrkomfort

Die städtische Straße ist nicht nur Verkehrsfläche – sie ist auch eine Trasse für jede Art von Ver- und Entsorgungsleitungen: Elektrizität, Telefon, Wasser, Gas, Fernwärme, Kabelfernsehen, Abwasserkanäle, Blitzschutzleitungen. Die kurzfristige Zugänglichkeit dieser Leitungen ist für Ausbau- oder Reparaturarbeiten zu gewährleisten.

Das erklärt, weshalb im innerstädtischen Bereich auch bei besonderen Beanspruchungen die Wahl auf eine standfeste Asphaltstraße und nicht auf eine Betonfahrbahn fällt. Bei einer Asphaltstraße sind Aufgrabungen zum Beispiel zur Freilegung von Versorgungsleitungen mit kalkulierbarem Aufwand möglich. Kostenersparnisse können so bei der Wahl einer Asphaltstraße durch das Vermeiden der teilweise sogar die eigentlichen Oberbaukosten übersteigenden, kostenintensiven tiefbautechnischen Verlegearbeiten erzielt werden. Tatsache ist aber, dass bei Bahnsystemen auf einer Betontragschicht, egal ob Rad/Schiene-Technik oder auf

Gummireifen, diese indirekten Folgekosten unvermeidbar sind, da der hochfeste Baustoff Beton bei einer nachträglichen Freilegung sehr aufwändige Baumaßnahmen erfordern würde. Abgesehen davon sollten Beeinträchtigungen auf einen dichten Fahrbetrieb infolge freigelegter Versorgungsleitungen vermieden werden.

Bei der Verwendung einer Asphaltstraße als Busverkehrsfläche sollte nach Möglichkeit ebenfalls Leitungsfreiheit angestrebt werden, da durch Straßenaufbrüche das konsolidierte und verspannte Fundament einer Straße aufgelockert wird. Wenn bei unvermeidbaren Aufgrabungen der Streckenabschnitt mit handgelenkten Fahrzeugen befahren wird, können aber immerhin leicht Umleitungsfahrten eingerichtet werden. Damit aber trotz tiefbautechnischer Maßnahmen dauerhaft ein hoher Fahrkomfort gewährleistet werden kann, sind besondere Anstrengungen bei der homogenen Verdichtung der Verfüllung notwendig. Schichtenverbund, Nähte, Anschlüsse und Randausbildungen des Asphaltoberbaus sind sorgfältig und fachkundig wiederherzustellen.

### E.3.4 Rasengleisvarianten



Bild E.15: Klassisches Rasengleis der Straßenbahn (TAM)

Bei Schienenbahnen hat das Rasengleis auf unabhängigen und besonderen Bahnkörpern aufgrund ökologischer und gestalterischer Erwägungen in zunehmenden Umfang Verwendung gefunden. Zur Verringerung des Instandhaltungsaufwandes geht man neben der Aussaat von langsam- und niedrigwachsenden Rasensorten auch dazu über, (Re-)Naturierungen mit Moosen und Sukkulente auszuführen.

Vorteile eines Rasengleises sind die Geräuschdämmung, Minimierung von Versiegelungseffekten, Vermeidung von Staubaufwirbelungen, Kompensation von städtischen Grünflächendefiziten sowie die optisch angenehme Wirkung in bebauten Räumen (**Bild E.15**). Als Nachteil stehen dem Rasengleis erhöhte Herstellungs- und Instandhaltungskosten entgegen.



Bild E.16: Rasengleis für die Straßenbahn auf Gummireifen

Bei der Straßenbahn auf Gummireifen kommt im französischen Clermont-Ferrand ebenfalls ein „Rasengleis“ zur Verfügung. Bei dem Einbau der Betontragplatte werden als Abrollspuren der Tragreifen zwei erhöhte Längsbalken vorgesehen, die überdies zur unauffälligen Integration aus grün eingefärbtem Beton bestehen sollen. Es ist aber anzunehmen, dass durch Gummiabrieb der Farbeffekt schnell wirkungslos sein wird (**Bild E.16**).



Der Spurbus-Fahrweg in Essen und in Adelaide mit Stahlbeton-Fertigteilen wird materialsparend ebenso entsprechend der erforderlichen Breite der Reifenaufstandsfläche bemessen. Der Zwischenraum zwischen den Fahrwegelementen wird unversiegelt belassen und ist im Fall von Essen auch begrünt. Im Winterdienst wird konventionell geräumt und abgestreut.

Sofern ausreichend Platz vorhanden ist, sollte bei spurfreien Systemen (z. B. Fahrzeugtyp Buszug) ein begrünter Fahrweg besser über Anpflanzungen in einem Mittel- oder beidseitigem Randstreifen vorgenommen werden, da eine geschlossene Fahrbahn für den Winterdienst wesentlich geeigneter ist. Analog zum Spurbus-Fahrweg wird aber auch überlegt, breite Reifenaufstandsfläche herzustellen und die Zwischenräume beispielsweise über Rasengittersteine zu befestigen (**Bild E.17**).



**Bild E.17:** Begrünter Fahrweg bei handgelenkten Bussen. Betonplatten mit eingelassenen Pflanztrögen, die sich außerhalb der Abrollfläche der Gummireifen befinden.

Allen Fahrbahnkonstruktionen der gummbereiften Transportsysteme ist gemein, dass die Abrollspuren der Tragreifen gegenüber den Zwischenräumen leicht erhöht hergestellt werden müssen, damit beim Winterdienst insbesondere Schnee ohne Beschädigung der Grasnarbe weggebürstet oder weggeräumt werden kann.



## E.4 Fahrzeugtypen und empfohlener Oberbau

### E.4.1 Auswahl der Straßenbautechnik

Allgemein ist bei der Wahl eines Walzasphaltes zu beachten, dass ein vollständiges Ausschließen von Schäden, besonders der Spurrinnenbildung, bei Transportsystemen zwischen Bus und Bahn über einen langen Zeitraum nicht realistisch ist. Es ist zu akzeptieren, dass die Decke periodisch je nach den Belastungen aus Klima und Verkehr aufgearbeitet werden muss. Als Erhaltungsmaßnahmen stehen hierfür dünne Schichten im Heiß- oder Kalteinbau zur Verfügung, bzw. Verfahren zum Rückformen der Fahrbahnoberfläche sowie Ersatzverfahren, d. h. der Ausbau geschädigter Schichten und deren Erneuerung.

Bei der Wahl der Verkehrsflächenbefestigung sind für den Standverkehr, hier insbesondere Haltestellenbereiche, sowie für den spurgeführten Verkehr auf freier Strecke örtliche Gegebenheiten, regionale Erfahrungen, technische Gesichtspunkte, nutzungsbedingte Besonderheiten sowie Umweltbedingungen zu berücksichtigen wie beispielsweise:

- Verkehrsbelastung,
- Wirtschaftlichkeit,
- Erhaltungsstrategien,
- Bau- und Wartungsaufwand,
- Know-how des Auftragnehmers,
- örtlich vorhandene Baustoffe sowie
- Stadtbildverträglichkeit.

Möglicherweise ist hierdurch bereits die Wahl einer Oberbauvariante vorgegeben. Trotzdem sind ergänzende Gesichtspunkte bei der Wahl eines geeigneten Oberbaus zu beachten. Sie sind im Folgenden den Fahrzeugtypen der Transportsystemen zugeordnet. Es ist darauf hinzuweisen, dass bei den bimodalen Fahrzeugtypen, z. B. Dual-Mode- oder Multi-Mode Bussen, der Fahrzeugtyp Busbahn für die nicht spurgeführten Abschnitte vergleichbar ist; bei den spurgeführten Abschnitten entspricht

wiederum der Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen dem Belastungsprofil der bimodalen Fahrzeugtypen.

Der wechselnden Gewichtung ortsspezifischer Gesichtspunkte ist bei der Wahl der Straßenbautechnik durch Abschnittsbildung, d. h. wechselnden Oberbauformen im Verlauf der Trassierung, zu entsprechen.

### E.4.2 Fahrzeugtyp Buszug

Bei *fließendem Verkehr* und dem Einsatz von Buszügen eignet sich als Bauweise: Splittmastixasphalt mit Straßenbaubitumen.

Bei *sehr langsam fahrenden oder stehenden Verkehr*, vornehmlich Haltestellenanlagen, sind bei der Wahl der Bauweise folgende Gesichtspunkte besonders zu berücksichtigen:

- Widerstand gegen Reifenpressung,
- Längsneigung,
- Vortriebskraft,
- Erwärmungstendenz,
- Schubbeanspruchung in engen Kurvenradien,
- Schubbeanspruchung in den Beschleunigungs- und Verzögerungsbereichen,
- Lage und Zustand der Versorgungsleitungen sowie
- Standsicherheit des Formsteins.

Insbesondere die hohe Vortriebskraft bei nur einer hochmotorisierten Triebachse und der kraftschlüssige Einbau eines Formsteins lässt vorrangig einen Betonbelag (Ortbeton) empfehlenswert erscheinen. Als geeignete Straßenbautechnik sind bei sehr langsam fahrendem Verkehr aber auch ein modifizierter Splittmastixbelag, ein Gußasphalt, ein Métalflex-Belag oder ein halbstarrer Belag in Betracht zu ziehen.

### E.4.3 Fahrzeugtyp Busbahn

Bei dem Einsatz von Busbahnen im *fließenden Verkehr* eignet sich als Bauweise: Splittmastixasphalt mit Straßenbaubitumen.

Folgende Gesichtspunkte sind ergänzend bei der Wahl der Bauweise bei *sehr langsam fahrenden oder stehenden Verkehr* besonders zu berücksichtigen.

- erhöhter Widerstand gegen Reifenpressung,
- Längsneigung,
- Erwärmungstendenz sowie
- Schubbeanspruchung in engen Kurvenradien.

Im Haltestellenbereich ist bei Busbahnen ein hoher Widerstand gegen bleibende Verformungen (hohe Reifenpressung, verstärkt zum Beispiel durch Super-Single-Reifen) besonders zu berücksichtigen. Die Vortriebskraft verteilt sich im Regelfall auf mindestens zwei Achsen, so dass nicht zu erwarten ist, dass der Belag durch Beschleunigungsvorgängen so extrem wie bei Buszügen belastet wird. Die Haltestellenanfahrt erfolgt spur geregelt, so dass der Formstein nicht angesteuert wird. Eine geeignete Bauweise ist ein modifizierter Splittmastixbelag.

Des Weiteren sind bei stehendem Verkehr auch die folgenden Straßenbautechniken in Betracht zu ziehen: Gußasphalt, Métalflex-Belag, halbstarre Belag sowie Betonbelag (Ortbeton).

#### **E.4.4 Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen**

Bei dem Betriebsmodus eines mechanisch spurgeführten Transportsystems auf Gummireifen sind bei der Wahl der Bauweise folgende Gesichtspunkte besonders zu berücksichtigen:

- Einbaumöglichkeit mechanischer Querführungseinrichtung,
- Widerstand gegen Reifenpressung,
- Komfortanspruch,
- Längsneigung,
- Erwärmungstendenz,
- Schubbeanspruchung in engen Kurvenradien,
- Schubbeanspruchung in den Beschleunigungs- und Verzögerungsbereichen,
- Lage und Zustand der Versorgungsleitungen sowie
- Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen unter rollendem Rad

Insbesondere mit der Gleitschalungstechnik lässt sich ein Fahrweg (einschließlich des Monoschienentrog) mit dauerhaft guten Gebrauchseigenschaften wirtschaftlich herstellen (Feste Fahrbahn mit Gleitschalungstechnik). Aber es können auch spezielle Asphaltbeläge (modifizierter Splittmastixbelag bzw. Métalflex-Belag) oder halbstarre Deckschichten mit entsprechenden Tragschichten eingesetzt werden:





## E.5 Kostensätze Fahrwegkonstruktionen

### E.5.1 Kostendaten Splittmastixasphalt

Es soll der Frage nachgegangen werden, welche Infrastrukturkosten *nur* für die Verkehrsflächenbefestigung pro lfdm unter der Annahme der Bauklasse II und einem Splittmastixasphalt zu erwarten sind. Die angegebenen Kosten enthalten nicht die anteiligen Kosten für die Erneuerung der Fahrbahn nach schätzungsweise 10 Jahren Nutzungsdauer. Auch der Bodenaushub/Auskoffnung/Entwässerung soll hierbei unberücksichtigt bleiben.

Es werden folgende Oberbaukosten für einen Splittmastixasphalt mit Straßenbaubitumen in [EUR/m<sup>2</sup>] geschätzt (vgl. RstO 01, Tafel 1, Zeile 2.1, Bauklasse II):

Planum herstellen		2 EUR/m <sup>2</sup>
Frostschuttschicht	35 cm	11 EUR/m <sup>2</sup>
Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	15 cm	10 EUR/m <sup>2</sup>
Asphalttragschicht	8 cm	10 EUR/m <sup>2</sup>
Haftkleber (2x)		2 EUR/m <sup>2</sup>
Asphaltbinder	8 cm	12 EUR/m <sup>2</sup>
Splittmastixasphalt B 65 (0/11S)	4 cm	8 EUR/m <sup>2</sup>
<b>Σ</b>	<b>70 cm</b>	<b>~55 EUR/m<sup>2</sup></b>

**Tabelle E.1: Kostenstruktur Splittmastixasphalt auf Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschuttschicht, Bauklasse II [EUR/m<sup>2</sup>]**

Das Liefern und Versetzen der Borde zur Einfassung der Verkehrsflächenbefestigung kann mit rund 35 EUR/lfdm angenommen werden. Nimmt man eine zweistreifige Fahrbahn mit  $b = 6,80$  m an, können die Kosten mit rund 450.000 EUR/km näherungsweise abgeschätzt werden (**Tabelle E.2**).

Planum herstellen	14	EUR/lfdm
Frostschuttschicht	75	EUR/lfdm
Hydraulisch gebundene Tragschicht	68	EUR/lfdm
Asphalttragschicht	68	EUR/lfdm
Haftkleber (2x)	14	EUR/lfdm
Asphaltbinder	82	EUR/lfdm
Splittmastixasphalt B 65 (0/11S)	55	EUR/lfdm
Randbefestigung zu beiden Seiten	70	EUR/lfdm
<b>Σ</b>	<b>~450</b>	<b>EUR/lfdm</b>

**Tabelle E.2: Kostenstruktur Splittmastixasphalt auf Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschuttschicht, Bauklasse II, b = 6,80 m [EUR/lfdm]**

## E.5.2 Kostendaten Sonderbindemittel und Monoschieneneinbau

Die mechanisch spurgeführten Fahrzeugtypen GLT/TVR und Translohr bedingen infolge der völligen Spurtreue einen verformungsresistenteren Oberbau. Es entstehen deshalb Mehraufwendungen für einen Splittmastixasphalt mit Sonderbindemittel (**Tabelle E.3**).

Die Mehrkosten für modifizierte Bindemittel liegen im Allgemeinen bei Walzasphalten zwischen 80 und 100 EUR/t. Bei einem Bindemittelgehalt von 6,5 Gew.-% im Splittmastixasphalt 0/11S sind das Mehrkosten von 5 EUR/t bis 7 EUR/t Splittmastixasphalt. Bei einer 4 cm dicken neuen Deckschicht aus SMA 0/11S lassen sich aus 1 t Asphalt zehn Quadratmeter herstellen; dies entspricht Mehrkosten in einer Bandbreite von 0,50 EUR/m<sup>2</sup> bis 0,70 EUR/m<sup>2</sup>. Sollte in allen Schichten auf modifizierte Bindemittel zurückgegriffen werden, kann vereinfacht mit Mehrkosten von rund 3,50 EUR/m<sup>2</sup> für die Asphaltsschichten gerechnet werden. Die ergänzenden Kostenaufwendungen für den nachträglichen Einbau einer Monoschiene in einen Asphalt oberbau sind in der **Tabelle E.4** aufgeführt.

So lässt sich beispielsweise für einen Kilometer ÖV-Trasse für den Typ Straßenbahn auf Gummireifen, Bauart Translohr (zweigleisig, b = 5,30 m) vereinfacht der gerundete Betrag von rund 880.000 EUR bei der Wahl eines Splittmastixbelags mit Sonderbindemittel abschätzen. Fahrweg-Sonderkonstruktionen im Bereich der Haltestellenanlagen sind hierbei nicht eingerechnet.

Planum herstellen	11 EUR/lfdm
Frostschuttschicht	58 EUR/lfdm
Hydraulisch gebundene Tragschicht	53 EUR/lfdm
Asphalttragschicht	53 EUR/lfdm
Haftkleber (2x)	11 EUR/lfdm
Asphaltbinder	64 EUR/lfdm
Splittmastixasphalt (0/11S)	42 EUR/lfdm
Sonderbindemittel, alle Asphalt-schichten	20 EUR/lfdm
Randbefestigung zu beiden Seiten	70 EUR/lfdm
<b>Σ</b>	<b>~380 EUR/lfdm</b>

**Tabelle E.3: Kostenstruktur Splittmastixasphalt (Sonderbindemittel) auf Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschuttschicht, Bauklasse II, b = 5,30 m [EUR/lfdm]**

Einschneiden/Ausheben/Entsorgen (0,5x0,3x1,0)	17 EUR/lfdm
Betonfundament (0,5x0,3x1,0)	70 EUR/lfdm
Einbau Schienenbefestigungsmittel	55 EUR/lfdm
Schienenmontage	80 EUR/lfdm
Eindeckung	20 EUR/lfdm
<b>Σ</b>	<b>~250 EUR/lfdm</b>

**Tabelle E.4: Kostenstruktur bei einem nachträglichen Einbau einer Monoschiene in eine Asphaltstraße [EUR/lfdm]**

### E.5.3 Kostendaten Beton-Gleitschalungstechnik

Die Kostenstruktur eines einspurigen Fahrwegs für den Fahrzeugtyp Straßenbahn auf Gummireifen, Bauart Translohr, ergibt beispielhaft folgende Kosten pro lfdm:

Planum herstellen	4 EUR/lfdm
Frostschuttschicht (35 cm)	24 EUR/lfdm
HGT (15 cm) mit Vliesstoff	22 EUR/lfdm
Betontragplatte Gleitschalungsfertiger (35 cm)	275 EUR/lfdm
Einbau Schienenbefestigungsmittel	55 EUR/lfdm
Schienenmontage	80 EUR/lfdm
Eindeckung	20 EUR/lfdm
<b>Σ</b>	<b>~480 EUR/lfdm</b>

**Tabelle E.5: Kostenstruktur Straßenbahn auf Gummireifen in Gleitschalungstechnik auf hydraulisch gebundener Tragschicht, b = 2,20 m [EUR/lfdm]**

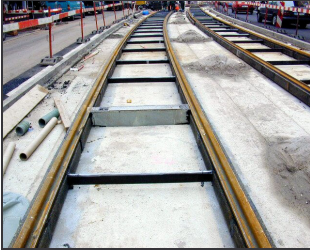
Die Betonkonstruktion der Bauart Translohr wird als rund 2,20 m breite durchgehende, fugenlose und kunststoffaserverstärkte Platte in Gleitschalungstechnik mit mittiger Längsausnehmung (Monoschienentrog 0,1 x 0,2 m<sup>2</sup>) hergestellt. Die Mindestdicke unter dem Trog ist mit 24 cm abgeschätzt worden (vgl. RStO 01, Tafel 2, Zeile 1.1, Bauklasse II). Der Bau einer zweigleisigen Bahntrasse für gummibereifte Fahrzeuge in der Beton-Gleitschalungstechnik kann demnach mit rund 960.000 EUR/km abgeschätzt werden (**Bild E.18**).



**Bild E.18: Gleitschalungstechnik zur Herstellung einer kunststoffaserverstärkten Beton-Fahrbahn (LOHR INDUSTRIE)**

### E.5.4 Kostendaten Straßenbahngleis

Die Kostenstruktur eines schwingungsgedämpften, kontinuierlich gelagerten Straßenbahngleises mit Kammerfüllkörper aus Kunststoff (Betonplattenbreite  $b = 2,00 \text{ m}$ ) ergibt beispielhaft folgende Kosten pro lfdm:



**Bild E.19:** Schwingungsgedämpftes Straßenbahngleis. Beachte die Kammerfüllkörper im Stegbereich sowie die Spurstangenummantelung.

Planum herstellen	4 EUR/lfdm
Frostschuttschicht (35 cm)	22 EUR/lfdm
Betontragplatte B 35 (30 cm)	65 EUR/lfdm
Einbau Schienenbefestigungsmittel	130 EUR/lfdm
Schienenmontage	220 EUR/lfdm
Kammerfüllkörper	95 EUR/lfdm
Pflaster, Zementfugen	70 EUR/lfdm
Fugenverguss	30 EUR/lfdm
<b>Σ</b>	<b>~640 EUR/lfdm</b>

**Tabelle E.6:** Kostenstruktur eines schwingungsgedämpften Straßenbahngleises mit Kammerfüllkörper [EUR/lfdm]



**Bild E.20:** Schwingungsgedämpftes Straßenbahngleis mit Betontragplatte und Zweiblockschwellen. Die Schwellenfächer werden anschließend mit Magerbeton ausgefüllt.

Der Bau einer zweigleisigen Straßenbahntrasse kostet folglich rund 1.300.000 EUR/km (**Tabelle E.6; Bild E.19**). Eine besonders hohe Schwingungsdämpfung kann erreicht werden, wenn Zweiblockschwellen auf einer durchlaufenden, massiven Ort beton-Tragplatte verwendet werden. Der Schienenfuß wird hierbei auf einer elastischen Zwischenlage gelagert und die Rillenschienen im Stegbereich mit Kammerfüllkörper aus Polyurethan umhüllt (**Bild E.20**). Eine hinsichtlich des Erschütterungs- und Körperschallschutzes schwingungsoptimierte Sonderkonstruktion wie z. B. eine „Flüsterschiene“ im Stahlkasten ist rund doppelt so teuer (**Tabelle E.7, Bild E.21**).



**Bild E.21:** „Flüsterschiene“ mit einer vollständig kunststoffummantelten Schienenlagerung, Beispiel System Ortec

Planum herstellen	4 EUR/lfdm
Frostschuttschicht (35 cm)	75 EUR/lfdm
Betontragplatte B 35 (30 cm)	65 EUR/lfdm
Schienenlagerung	48 EUR/lfdm
Schienenmontage	120 EUR/lfdm
Flüsterschiene im Stahlkasten	950 EUR/lfdm
Pflaster, Zementfugen	70 EUR/lfdm
Fugenverguss	30 EUR/lfdm
<b>Σ</b>	<b>~1360 EUR/lfdm</b>

**Tabelle E.7:** Kostenstruktur eines Straßenbahngleises mit Ortec Flüsterschiene (Stahlkasten) [EUR/lfdm]

### E.5.5 Gegenüberstellung und Interpretation der systemspezifischen Kostenfaktoren

Geschlossene Oberbauform, nur Herstellung	Kostenfaktor
Asphaltstraße (b = 6,80 m)	0,3
Asphaltstraße (mit Sonderbindemittel, b = 6,80 m)	0,4
Asphaltstraße (mit Sonderbindemittel u. Monoschiene, b = 5,30 m)	0,7
Spurbustrasse (höhenjustierbare Stahlbeton-Fertigteile, Bauart Züblin)	0,8
Beton-Gleitschalungstechnik mit Monoschiene (b = 5,30 m)	0,8
Standard-Straßenbahngleis Schwingungsgedämpft auf einer Betontragplatte	1
Straßenbahngleis Schwingungsgedämpft auf einer Betontragplatte und Zweiblockschwellen	1,7
Straßenbahngleis Schwingungsoptimierte Sonderkonstruktion, System Ortec	2,1

**Tabelle E.8: Idealtypische Kostenfaktoren von Fahrwegkonstruktionen im Überblick, jeweils zwei Spuren**

Es ist zu betonen, dass die hier aufgeführten systemspezifischen Kostenfaktoren in ihrer Relation zueinander nur einen Bruchteil der Gesamtkosten eines betriebsfertigen Systems wiedergeben. Auch systemspezifisch sind Unterschiede im Bereich Leitungsverlegung, Grunderwerb, Entwässerung, Sonderbauwerke, Energieversorgung, Bauleitung etc. festzustellen. Erschwerend kommt die aktuelle Tendenz hinzu, dass gerade eine städtische Bahn nicht ausschließlich als Verkehrsprojekt, sondern ebenso als Kernelement städtebaulicher Vorhaben gesehen wird.

Auch die unterschiedlichen Instandhaltungskosten und Nutzungsdauern schließen ohne konkreten Projekthintergrund einen objektiven Vergleich aus. So wäre der Betonfahrweg für die Systeme zwischen Bus und Bahn praktisch wartungsfrei, während bei den Gleisrosten der Straßenbahn Kosten für die Unterhaltung und gegebenenfalls der Schienenerneuerung zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus kommt hinsichtlich des Schall- und Erschütterungsschutzes bei Schienenbahnen der Festlegung eines jeweils erforderlichen, aber ausreichenden Oberbaus eine sehr hohe Bedeutung zu. Das führt dann im Verlauf einer Strecke abschnittsweise zu unterschiedlichen Oberbauarten, was einen allgemeinen Kostenvergleich mit Durchschnittswerten ebenfalls erschwert.

Bei einer Interpretation der dargestellten systemspezifischen Kostenfaktoren ist darüber hinaus stets einzubeziehen, dass

- bei spurfreien Bussystemen auch teilweise das existierende Straßennetz mitbenutzt werden kann und dadurch bezogen auf die Gesamtstrecke die Wegekosten gegenüber einem Bahnsystem geringer ausfallen sowie
- eine Bahntrasse in jedem Fall kostenaufwendige Verlegearbeiten von Versorgungsleitungen erfordert.





## E.6 Literatur

**Abodahab, M. (2001):** Innovationspotential von hoch polymermodifiziertem Bitumen für Straßen mit besonderer Beanspruchung. Diplomarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Straßenbau und Straßenentwurf, Wuppertal 2001.

**GIE-TVM (1999):** Premiers résultats des essais – Essais d’ornièrage par fluage sous 100.000 cycles réalisés à plus de 30°C sur le manège du L.C.P.C de Nantes, Expertise des Revêtements de Chaussées, Septembre 1999.

**Handbuch zur Einführung des Busverkehrssystems – Demonstrationsvorhaben Lübeck (1992),** Forschungsprogramm Stadtverkehr des Bundesministers für Verkehr, Hamburg 1992.

**Hutschenreuther, J.; Wörner, T. (1998):** Asphalt im Straßenbau: aus der Praxis des Verkehrsbaus, 1. Aufl. - Berlin: Verl. für Bauwesen, 1998.

**Kosiedowski, K. (2001):** Mdl. Äußerung zum Thema: Spurrinennbildung durch Wärmestau in Asphaltdeck-, binder- und Tragschichten am Beispiel des Busbahnhofs Graf Wilhelm Platz, Vermögensbetriebe der Stadt Solingen, 7.11.2001.

**Straube, E., Beckedahl, H. (2000):** Straßenbau und Straßenerhaltung: ein Handbuch für Studium und Praxis, 6. durchges. Aufl. - Berlin: Erich Schmidt, 2000.

**Predel, P. (2000):** Änderungen und Ergänzungen der ZTV Asphalt-StB 94 - Entstehung und Ausblick, in: Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß Leipzig 1998, Bonn: Kirschbaum Verlag 2000.

**RstO 01** (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO 86, ergänzte Fassung 1989): FGSV, Köln 1989.

**ZTV Asphalt-StB:** Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt.

**ZTVA-StB:** Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ausgrabungen in Verkehrsflächen.

**ZTV-BEA-StB:** Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweisen.

