

Das Duo-Spurbussystem in Essen

Hans Ahlbrecht, Essen

3168

Als Ergänzung zu den klassischen Verkehrsmitteln Stadtbahn, Straßenbahn und Omnibus sind in Essen seit 1980 Spurbusse und seit 1988 Duo-Busse im Einsatz. Die Besonderheiten und die Erfahrungen werden beschrieben.

As supplementing to the classic transport systems as city railway, tramway and bus since 1980 track guided buses and since 1988 duo buses are used in Essen. A description is given of the peculiarities and experiences.

Les bus guidés sont en service à Essen depuis 1980, les duo-bus depuis 1988, en tant que complément aux moyens de transport classiques urbains, chemins de fer métropolitains, tramways et omnibus. Les particularités et les expériences sont décrites.

1 Die Entwicklung des Spurbus-Systems

Im Förderungsprogramm des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) bildete der Omnibus in den siebziger Jahren einen der wesentlichen Schwerpunkte. Neben der Weiterentwicklung der Fahrzeuge und ihrer Ausstattung standen Antriebsfragen und Fragen des Fahrwegs im Vordergrund.

Unter anderem wurden alternative Antriebe untersucht, und eine der Entwicklungsrichtungen bezog sich auf Busse mit zwei Antriebsanlagen, einem konventionellen Dieselmotor und einem zusätzlichen Elektroantrieb. Derartige Busse werden als „Duo-Busse“ bezeichnet. Sie unterscheiden sich vom bekannten Obus dadurch, daß beide Antriebsanlagen für die volle Leistung des Fahrprogramms ausgelegt sind, während der Obus lediglich einen Hilfsantrieb für Rangierbewegungen besitzt.

Im Bereich der Fahrwegentwicklung 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. Dabei wurden mechanische und elektronische Lösungen

untersucht und erprobt. Die hierfür eingesetzten Busse wurden anfangs als „automatisch quergeführte Busse“ oder als „Dual-Mode-Busse“ und schließlich kurz und prägnant als „Spurbusse“ bezeichnet.

Ziel dieser Entwicklungen war es, das Verkehrsmittel Omnibus zu einem Bus-Verkehrssystem zu erweitern. Dieses neuartige System sollte neben den bekannten Systemen Straßenbahn, Stadtbahn, U-Bahn und S-Bahn erweiterte verkehrstechnische Wahlmöglichkeiten schaffen und gleichzeitig – mit dem vergleichsweise kostengünstigen Fahrzeug Omnibus aufgebaut – die Wirtschaftlichkeit bei den Bau- und Betriebskosten steigern.

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 Verkehrsausstellung in Hamburg im Jahre 1979 hatte die Öffentlichkeit erstmals Gelegenheit, an Rundfahrten mit spurgeführten Omnibussen teilzunehmen. Zahlreiche wesentliche Systemelemente wie Fahrweg, Haltestelle, Tunnel und Fahrzeuge wurden als anwendungsreife Vorschläge präsentiert.

In den Berichten über die jährlichen Statusseminare von BMFT und Bundesverkehrsministerium (BMV) sind die jeweils erreichten Ergebnisse dokumentiert [1].

2 Anwendung des Spurbusses in Essen

Für die Stadt Essen und die Essener Verkehrs-AG war die verkehrspolitische Lage gegen Ende der siebziger Jahre dadurch gekennzeichnet, daß neben dem regionalen S-Bahn-Netz ein ebenfalls regionales Stadtbahnnetz „Rhein-Ruhr“ als regelspurige Schnellverkehrs-Stadtbahn geschaffen werden sollte und als Ergänzungsverkehrsmittel lediglich der Omnibus vorgesehen war. Die Straßenbahn, insbesondere – wie in Essen – auf Meterspur, sollte verschwinden; es war lediglich übergangsweise ein Vorlaufbetrieb bis zur Umstellung auf Regelspur-Stadtbahnbetrieb für einige Streckenäste geplant [2].

Um den großen Qualitätsunterschied zwischen der überwiegend U-Bahn-mäßig geführten Stadtbahn und dem konventionellen Omnibus zu überbrücken, entschied sich die Essener Verkehrs-AG kurz nach der erwähnten Verkehrsausstellung, das System des Spurbusses in Essen anzuwenden, und zwar im Hinblick auf die Mitbenutzung von Tunnelanlagen unter Einbeziehung des elektrischen Antriebs.

Dipl.-Ing. Hans Ahlbrecht (56), Prokurist der Essener Verkehrs-AG; Leiter der Hauptabteilung Werkstätten. Lehrbeauftragter für „Grundlagen des Fahrzeugbaus“ an der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal.

Adresse: Essener Verkehrs-AG, Zweigertstraße 34, W-4300 Essen 1.



Ein Stufenplan wurde aufgestellt und ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben beantragt. Es fand die Zustimmung des BMFT, und so ging der erste Streckenabschnitt nach äußerst kurzer Bauzeit bereits im Herbst 1980 in Betrieb.

Neben der praktischen Anwendung der industriell entwickelten und vorerprobten Systemkomponenten im Dauerbetrieb war in der Aufgabenstellung auch die Mitbenutzung von Straßenbahnstreckenabschnitten auf besonderem Bahnkörper und im Tunnel vorgesehen, also wiederum neuartige Anwendungsformen des Spurbussystems.

Aufgrund des seinerzeitigen Entwicklungsstandes und auch unter Abwägung der betrieblichen und sicherheitstechnischen Faktoren entschied man sich in Essen für die mechanische Spurführung.

3 Rechtsfragen

Die vielfach aufgeworfene Frage, ob ein spurgeführter Omnibus eine „Straßenbahn“ oder eine „Bahn besonderer Bauart“ sei, konnte nach eingehenden Untersuchungen, unter anderem mit dem BMV, abschließend dahingehend geklärt werden, daß der Bus seinen rechtlichen Charakter als Omnibus behält. Die Bestimmungen der „Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen“ (BOStrab) finden also keine Anwendung. Bei Mitbenutzung von Straßenbahnstreckenabschnitten muß allerdings stets dafür gesorgt werden, daß die Sicherheit und die Ordnung des Straßenbahnbetriebes dadurch nicht beeinträchtigt werden.

4 Systemkomponenten

4.1 Fahrweg

Wie oben bereits dargelegt, ist der Spurbusfahrweg in Essen mit mechanischen Leiteinrichtungen versehen. Diese bestehen aus 180 mm hohen, mit einer Leitweite von 2600 mm rechts und links der Fahrbahn angeordneten Führungskanten. Fahrbahn und Leiteinrichtungen bilden somit einen U-förmigen Trog, der beispielsweise an die Pariser

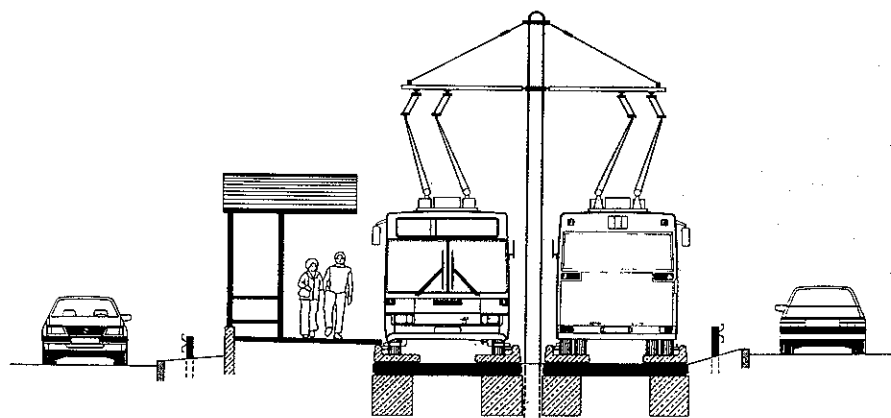


Bild 1. Typischer Systemquerschnitt mit Spurbusfahrzeug aus Betonfertigteilen. Haltestelle mit erhöhter Plattform, Oberleitung mit Schrägpendelaufhängung.

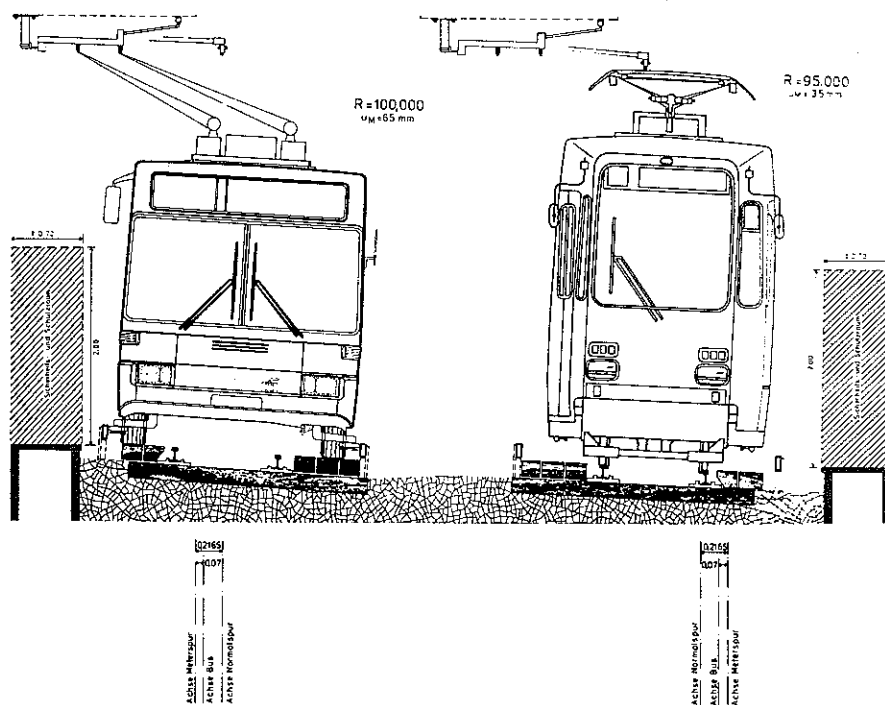


Bild 2. Querschnitt des Mischfahrwegs Straßenbahn/Spurbus mit Fahrbahn aus Holzbohlen und Leitkanten aus Stahlprofilen.

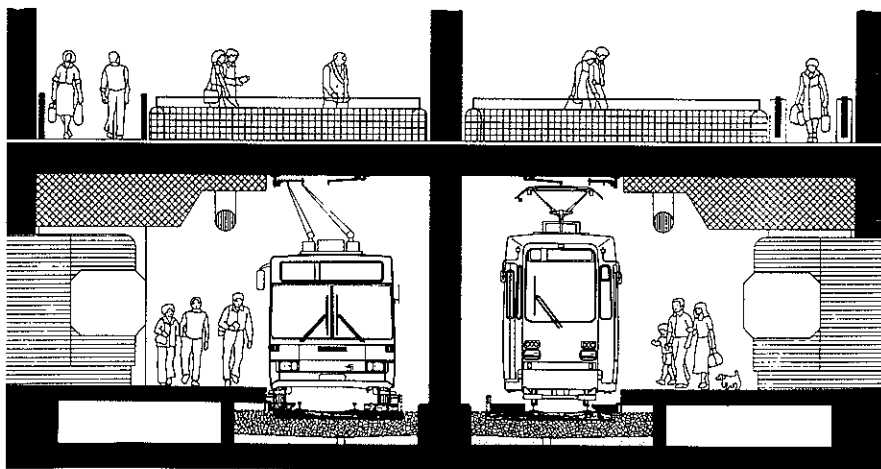


Bild 3. Querschnitt durch eine Haltestelle im Tunnel mit Straßenbahn- und Duo-Bus-Oberleitung; Duo-Bus-Oberleitung an Sonderfahrdrahtaltern in verringertem Abstand aufgehängt.

U-Bahnstrecken für gummibereitete Fahrzeuge erinnert (Bild 1).

Als Baustoffe für die Fahrbahn kommen je nach örtlicher Situation Ort beton, Beton in Fertigteilen oder Holzbohlen in Frage. Die Leiteinrichtungen bestehen entweder aus Stahlprofilen, die mit Stützen auf dem Beton oder an den Bohlen befestigt werden, oder sie sind in das Betonfertigteil unmittelbar einbezogen. Je nach Bodengüte und Ausführungsart wird die Fahrbahn auf Blockfundamenten, Bohrpfehlen oder einem Planum gelagert. Bei gemeinsamer Trasse mit der Straßenbahn ist auch die Befestigung auf den verlängerten Schwellenköpfen des Gleises im Schotterbett ausgeführt (Bild 2). An den Einfahrten in die geführten Fahrwegbereiche ist die Leitkante einseitig vorgezogen und auf der anderen Seite trichterförmig aufgeweitet, so daß der Busfahrer durch sanftes Anlenken an die Leitkante mühelos in den Spurweg einfahren kann. Hierbei sind Geschwindigkeiten von 30 km/h zulässig.

Querungen von Fuß- und Fahrwegen erzwingen eine Unterbrechung der Leitkante, so daß der Fahrer in diesem Bereich von Hand lenken muß. Allerdings lassen sich kurze Lücken in der geraden Strecke auch frei durchfahren. An Streckenabzweigungen wird entsprechend verfahren. Die Leitkanten werden jeweils außen durchgezogen und innen unterbrochen. Unterstützt durch Markierungen und Beleuchtung kann der Fahrer auch diesen Bereich mit Handlenkung durchfahren. Bewegliche Leitkanten mit aufwendigen und störanfälligen Hub- und Schwenkeinrichtungen sind somit nicht erforderlich.

4.2 Haltestellen

Aufgrund der genauen Führung des Omnibusses im Fahrweg kann an den Haltestellen ein Bahnsteig mit einer Höhe von 300 mm angeordnet werden. Die Spaltbreite beträgt nur 50 mm. Der Bahnsteig befindet sich in gleicher Höhe wie die untere Stufe des Einstiegs am Omnibus (Bild 3). Bei künftigen Niederflrbusen ist dann sogar der höhengleiche Eingang in das Fahrzeug gewährleistet.

4.3 Fahrzeuge

Besonders einfach sind auch die Führungseinrichtungen an den Fahrzeugen ausgebildet. An den Achsschenkeln der Vorderachse sind Tragarme befestigt, die wiederum die Rollenhalter und die Lenkrollen tragen. Letztere sind horizontal angeordnet und mit einer Gummibandage versehen. Der Durchmesser beträgt 175 mm. Mit einer Einstellvorrichtung wird der äußere Rollenabstand auf 2605 mm eingestellt, so daß die Lenkrollen in der Busspur stets unter Vorspannung gehalten werden und kein Schlingern auftritt.

Sofern Bögen mit einem Halbmesser von weniger als etwa 100 m zu durch-



Bild 4. Duo-Spurbus an der Haltestelle; Dieselbetrieb.

fahren sind, erhalten die hinteren Achsen der Fahrzeuge baugleiche, aber fest angeordnete Rollen als Abstandsrollen, die die Reifenschulter gegen ein Scheuern an den Leitkanten schützen.

Im Vorderreifen sind Notlaufringe eingebaut, die die Notlaufeigenschaft bei einem Reifenplatzer sicherstellen. Der Bus kann in diesem Fall die Strecke mit eigener Kraft räumen, und der Reifenwechsel kann an geeigneter Stelle ohne Betriebsbehinderung erfolgen. Auch das Überfahren von Fremdkörpern im Spurweg, beispielsweise von Ziegelsteinen, wurde getestet und erwies sich als unkritisch.

Das System Fahrweg/Fahrzeug ist für Fahrgeschwindigkeiten von 100 km/h bemessen und geprüft. In Essen erreichen die eingesetzten Stadtbusse rund 75 km/h Höchstgeschwindigkeit.

Neben 28 reinen Diesel-Spurbussen (Standard- und Gelenkbussen) sind 18 Duo-Spurbusse (Gelenkbussen) vorhanden, die neben dem serienmäßigen Dieselantrieb einen zweiten, für volle Leistung ausgelegten Elektroantrieb besitzen (Bild 4). Ihre Daten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Der elektrische Antrieb ist zunächst für die Mitbenutzung der Tunnelstrecken im Innenstadtbereich erforderlich. Bei einer späteren Ausdehnung des Oberleitungsnetzes könnte er zum Hauptantrieb werden, und statt der Duo-Busse könnten reine Obusse eingesetzt werden. Dies ist jedoch derzeit nicht absehbar.

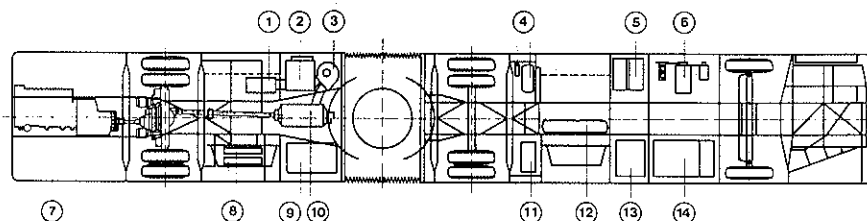


Bild 5. Grundriß des Duo-Spurbusses mit Anordnung der Aggregate im Bereich der Bodengruppe.

- | | | |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 Netz- und Motordrossel | 6 Hilfsbetriebsgruppe | 11 Lüfterwechselrichter |
| 2 Chopper | 7 Dieselmotor | 12 E-Heizung |
| 3 Lüfter | 8 Netzkondensator | 13 Steuerung Hilfsbetrieb |
| 4 Heizgerät | 9 Leistungsschütze | 14 Tank |
| 5 Batterien | 10 E-Fahrmotor | |

Als Mischfahrweg Spurbus/Straßenbahn hat sich die Bauweise mit Holzelementen als besser geeignet erwiesen als diejenige mit Betonelementen.

Auch die Fahrzeugtechnik bewährte sich gut. Einige Schwachstellen zeigten sich zu Anfang, so bei der Steuerung der Stromabnehmer, die durch verbesserte Bauelemente und Vereinfachung der Gerätetechnik behoben wurden.

Bedingt durch das zusätzliche Gewicht der doppelten Antriebsausrüstung liegt der Energieverbrauch der Duo-Busse um rund 5% über dem der Dieselbusse.

Für die Wartung und Instandsetzung hat es sich als vorteilhaft erwiesen, alle 18 Duo-Busse in einem Betriebshof zusammenzufassen und ein kleines Team besonders eingearbeiteter Werkstattmitarbeiter zu bilden.

7 Ausblick

Wie schon erwähnt, wird im Herbst 1991 wiederum eine Erweiterung der Spurbus-Strecken in Betrieb genommen. Dieser Abschnitt wird bereits nach den Regeln des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes finanziert. Da-

mit ist das System Spurbus/Duo-Bus bereits aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung in den Bereich der praktisch erprobten Verkehrsmittel übergegangen. Es stellt eine Bereicherung der verkehrstechnischen Möglichkeiten dar, angepaßte und zukunftsweisende Systeme des Öffentlichen Personennahverkehrs zu schaffen.

Literatur

- [1] Bundesminister für Forschung und Technologie: Nahverkehrsforschung; Bericht über die jährlichen Statusseminare. Bonn, 1975ff.
- [2] Niemann, H.-J., Teubner, W.: Stadtbahn Rhein-Ruhr Auftakt in Essen. In: Verkehr und Technik 30 (1977), H. 7, S. 276–282
- [3] Hörer, H., Fahrtmann, G.: Der Duo-Bus-Betrieb in Esslingen am Neckar. In: Verkehr und Technik 44 (1991), H. 7, S. 269–276
- [4] Hagin, F., Zelinka, R.: Der MAN-Gelenk-Duobus. In: Verkehr und Technik 37 (1984), H. 12, S. 453–457
- [5] Klotz, H., Kratz, G.: Gewichts- und raumsparende elektrische Antriebsausrüstung für Nahverkehrsfahrzeuge. In: Verkehr und Technik 36 (1983), H. 9, S. 354–357
- [6] Beck, P.: Moderne technische Lösungen für den öffentlichen Nahverkehr. In: Stadtverkehr 32 (1987), H. 2, S. 18–21

Bildnachweis

P. Hagedorn (7, 8, 9, 10, 11); EVAG (1, 2, 3, 5, 12);
Verfasser (4, 6, 13).

dienung von Mittelbahnsteigen in einigen U-Bahnhöfen ausgerüstet werden.

Im Vorlauf zur Serienbestellung erfolgte eine Erprobung zweier Prototypen der Hersteller MAN/SIEMENS [4] und Daimler-Benz/AEG [5, 6]. Letzterer erhielt nach Ausschreibung den Zuschlag für die Serie. Gleichartige Duo-Busse sind inzwischen auch in Eßlingen im Einsatz [3].

4.4 Elektrische Anlagen

Nach vergleichenden Vorstudien entschied man sich für ein Stromzuführungssystem nach dem Obus-Prinzip mit zweipoliger Oberleitung und erdfreier Schaltung (Bild 7). Die Erdfreiheit wird ständig überwacht. Eine Mitbenutzung der Straßenbahn-Oberleitung unter Verwendung eines Straßenbahn-Einholmstromabnehmers und eines Schienen-Rückführungsschuhs hätte den Einsatz der Duo-Busse auf die reinen Tunnelabschnitte begrenzt und zu elektrischen Schutzproblemen geführt. Das Obus-System mit seinen Trolleystangen bietet demgegenüber auch die Möglichkeit, auf Straßen elektrisch zu fahren, wo es auf gute Fahrdynamik bei geringen Emissionen ankommt, beispielsweise in starken Steigungen oder eng bebauten Gebieten.

Die Oberleitungsnennspannung beträgt 750 V. Diese Spannung wurde gewählt, weil sie gegenüber der bisherigen üblichen Spannung von 600 V die Übertragungsverluste verringert und längere Speiseabschnitte ermöglicht.

Die Bereitstellung des Drehstroms erfolgt aus dem Mittelspannungsnetz mit 10 kV. Die Gleichrichterwerke entsprechen im Prinzip den üblichen Obus-Gleichrichterwerken. Sie sind mit einem Siliziumgleichrichter in selbstbelüfteter Bauweise ausgerüstet; die Gleichstrom-Schaltanlage enthält zwei Streckenabgänge und ein Umgehungsfeld. Alle Schalter sind an die vorhandene Fernsteuerung angeschlossen.

Durch Umbau früherer Straßenbahn-Gleichrichterwerke entstanden die Gleichrichterwerke „Wittenbergstraße“ (2000 A) und „Am Ostpark“ (1800 A), während das Gleichrichterwerk „Kray“ (1000 A) neu errichtet wurde. Die Gleichrichterwerke „Porscheplatz“ (1000 A) und „Krupp-Hauptverwaltung“ (1000 A) versorgen die Tunnelstreckenabschnitte; sie sind als Gemeinschaftsanlagen mit Straßenbahngleichrichterwerken ausgeführt. Sie besitzen jeweils einen eigenen Drehstromtransformator für die Duo-Bus-Versorgung, da das Oberleitungsnetz des Duo-Busses, wie schon erwähnt, galvanisch getrennt von der Erde und vom Straßenbahnnetz betrieben wird. Das Gleichrichterwerk „Porscheplatz“ befindet sich als einziges im Tunnel.

Unter Berücksichtigung der Wagenfolge und der Betriebsströme der Duo-Busse sowie der Querschnitte der Oberleitungen wurden die Speisebezirke und die Gleichrichterwerkstandorte ermittelt. Hierbei spielt die Auslösesicherheit der Streckenschutzeinrichtungen eine entscheidende Rolle, auch bei Kurzschlüssen am Streckenende.

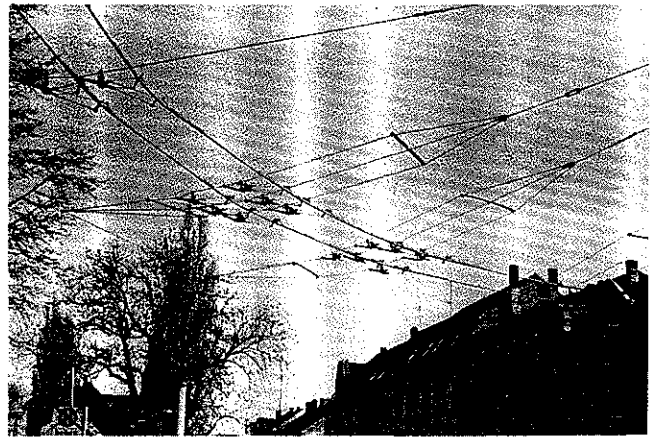


Bild 8. Oberleitung an der Endstelle in Kray mit Kurvenschienen und Netzaufhängung.

Einige Zusatzeinrichtungen ergänzen die Ausrüstung der Gleichrichterwerke. Dies sind insbesondere die Isolationsüberwachung der Oberleitung, deren elektrische Beheizung zum Abtauen von Eis und Raureif und die elektrische Beheizung der Fahrbahn in den Einfahrbereichen der Tunnelstrecken.

Die Oberleitung entspricht im Prinzip den bekannten Bauarten der Obusanlagen. Es sind im oberirdischen Bereich überwiegend Schrägpendelaufhängungen vorhanden (Bild 1). In engen Kurven sind Kurvenschienen (Bild 8) eingebaut (Beispiel Endschleife Kray).

In verschiedener Hinsicht wurden auch neue Wege beschritten. In den engen, dicht bebauten Straßen des Stadtteils Kray weisen die Fahrdrähte einen Abstand von nur 300 mm auf, um die Optik zu verbessern. In der Steeler Straße wurde neben der bestehenden Straßenbahn-Hochkette eine Duo-Bus-Oberleitung ebenfalls in Schmalbauweise und mit Gewichtsnachspannung gebaut, um die gleichen Stützpunktabstände wie bei der Straßenbahn zu ermöglichen. Die Bauelemente für die Wechselfelder stellen eine Neuentwicklung dar.

Die Tunnelstrecken mit ihren wechselnden Querschnitten (Rechteck- und Rundprofile) erforderten ebenfalls

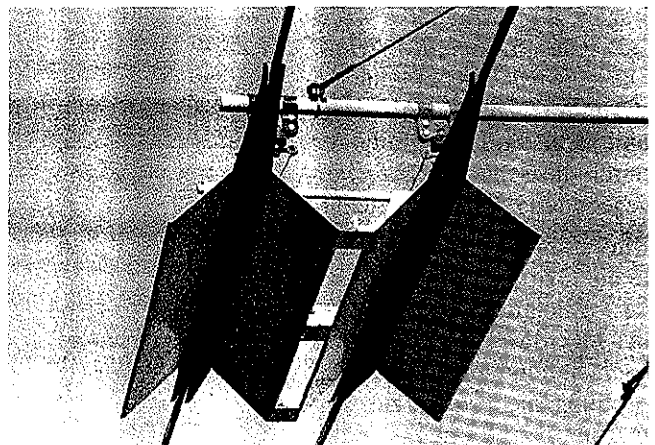


Bild 9. Eindrahthilfe mit eingelegeter Kupferschiene und Durchfahrmöglichkeit.

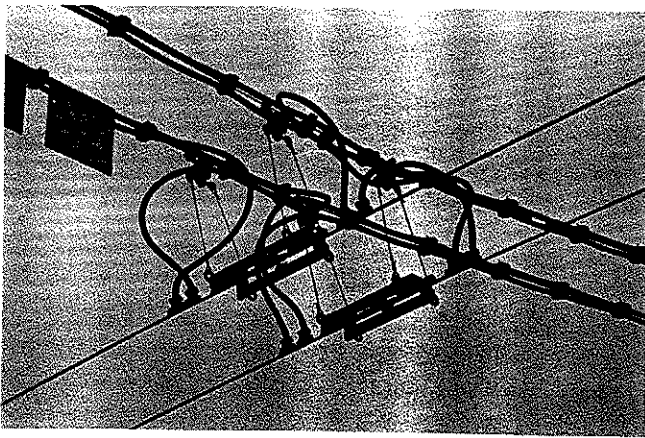


Bild 10. Duo-Bus-Streckentrenner.

zahlreiche Sonderlösungen. Hierzu fanden Erprobungen neuer Fahrdralthalter und Anordnungen auf einer Versuchsstrecke im Betriebshof statt. Besonders in den Bahnhöfen und in den Rundprofil-Tunnelstrecken ließ sich die Duo-Bus-Oberleitung nur nach genauester Planung und mit sehr geringen Abständen, zum Teil in höhenversetzter Anordnung der beiden Fahrdrähte, unterbringen. Auch für die Straßenbahn-Oberleitung ergaben sich einige Einschränkungen.

Die hier gefundenen Lösungen stehen nunmehr auch für Anwendungen bei anderen Projekten zur Verfügung. Beispiele sind den Bildern 9, 10 und 11 zu entnehmen.

4.5 Sicherungssystem

Die Mitbenutzung der Straßenbahn-Tunnelstrecken, die mit einem U-Bahn-mäßigen Zugsicherungssystem aus ortsfesten Signalen, magnetischen Fahrsperrern, Gleisfreimeldeanlagen mit Tonfrequenz-Gleiskreisen sowie einer induktiven Meldungsübertragung ausgerüstet sind, erfordert die volle Einbindung der Duo-Busse in dieses System. Daher wurden die Duo-Busse mit den gleichen Fahrsperrermagneten, Koppelpulen, Schaltgeräten und Bedieneinrichtungen ausgerüstet wie die Straßenbahnwagen. Die Fahrsperrwirkung auf die Druckluftbremse. Diese wird mit einem bestimmten Druck beaufschlagt und stellt die Einhaltung der durch die Schutzstrecken vorgegebenen Bremswege sicher. Ein besonderes Problem stellte die Ortung der Duo-Busse dar. Ein anfangs vorgesehene Mikrowellensystem stand nach bereits eingeleiteter Erprobung nicht mehr zur Verfügung. Daraufhin entwickelte der Zugsicherungsdienst der Essener Verkehrs-AG

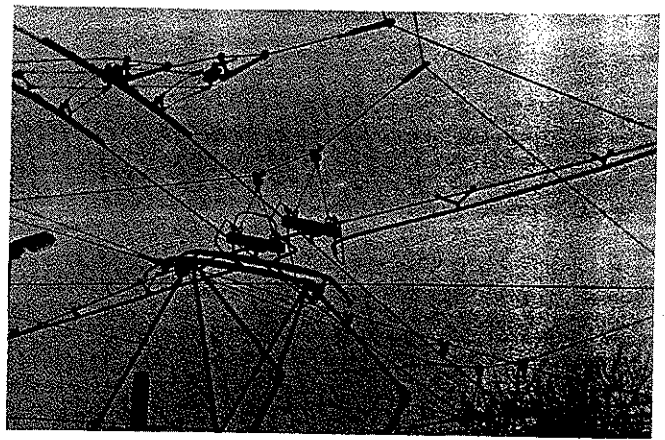


Bild 11. Fahrdrachtkreuzung Straßenbahn-Duo-Bus.

selbst ein neuartiges, recht einfaches Ortungsverfahren (Bild 12). Es arbeitet mit Detektoren, die in die Leitkanten eingefügt sind, und mit einer zweikanaligen Erfassung und Auswertung. Die Detektoren reagieren einerseits auf die metallischen Rollenhalter der Lenkrollen an der Vorderachse und andererseits auf einen Permanentmagneten, der am Heck des Busses angebracht ist.

Die Einbauorte der Detektoren entsprechen den Blockteilungen der Gleisfreimeldeanlage; die Auswerteeinrichtungen in den Stellwerken sind mit der Gleisfreimeldeanlage parallelgeschaltet.

5 Ausbaustufen

Von vornherein wurde für den Spurbus ein stufenweises Vorgehen eingeplant, um die jeweiligen Risiken gering und überschaubar zu halten. Die Ausbaustufen sind folgende (Bild 13):

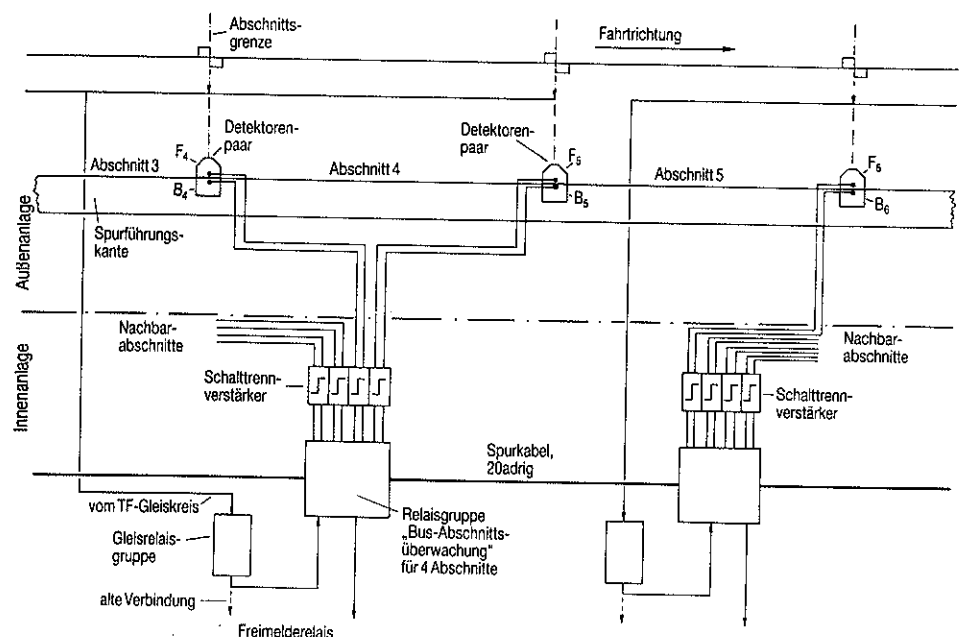


Bild 12. Schaltschema des Ortungssystems für den Duo-Spurbus.

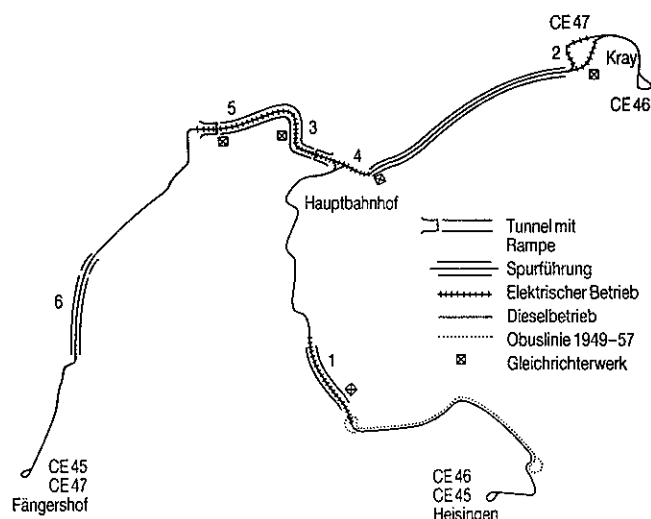


Bild 13. Streckenübersicht der Duo-Bus-Linien in Essen mit Angabe des Jahres der Betriebsaufnahme.

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 Wittenbergstraße 1983 | 4 Steeler Straße 1989 |
| 2 Kray 1986 | 5 Tunnel Berliner Platz 1991 |
| 3 Tunnelstrecke Porscheplatz 1988 | 6 Fulerumer Straße 1980 |

1980 Fulerumer Straße und Wickenburgstraße
 Spurbusfahrweg in Betonfertigteiltbauweise
 2 Abschnitte zusammen rund 1,5 km lang
 3 Haltestellen
 Dieselbetrieb
 Versuchsstrecke für Mikrowellen-Ortungssystem

1983 Wittenbergstraße
 Spurbusfahrweg teilweise mit Betonelementen teilweise mit Holzelementen auf dem Straßenbahngleis als Mischfahrweg
 2 Abschnitte zusammen rund 0,9 km lang
 1 Haltestelle
 elektrischer Betrieb
 Oberleitung für Duo-Bus und Straßenbahn
 1 kombinierte Straßenbahn- und Spurbusweiche
 1 Gleichrichterwerk

1986 Dortmunder Straße (Autobahn A 430)
 Spurbusfahrweg aus Betonfertigteilen
 1 Abschnitt 4,0 km lang
 4 Haltestellen
 Dieselbetrieb, elektrischer Betrieb im Stadtteil Kray
 1 Gleichrichterwerk

1988 Tunnelstrecke Rampe Varnhorststraße – Rampe Schützenbahn
 Spurbusfahrweg mit Holzelementen auf dem Straßenbahngleis als Mischfahrweg rund 1,0 km lang
 1 U-Bahnhof
 elektrischer Betrieb
 Oberleitung für Duo-Bus und Straßenbahn
 2 Gleichrichterwerke
 Oberleitung im Straßenbereich bis Haltestelle Viehofer Platz und bis Haltestelle Wasserturm

1991 Tunnelstrecke Porscheplatz – Berliner Platz – Rampe Westendstraße, Verlängerung der bestehenden Tunnelstrecke um rund 1,5 km

2 U-Bahnhöfe
 1 Haltestelle
 elektrischer Betrieb
 1 Gleichrichterwerk

Somit sind Ende 1991 rund 8,9 km Spurbusstrecken im Betrieb; die elektrifizierten Abschnitte auf Spurbusstrecken und im Straßenraum umfassen rund 5,0 km.

6 Betriebserfahrungen

6.1 Verkehrstechnische Maßnahmen

Um das Einfahren von Fremdfahrzeugen in die Spurbusstrecken zu verhindern, kam bei der Verkehrsbeschilderung neben großen Hinweistafeln erstmals in Essen das Zeichen 245 der Straßenverkehrsordnung zum Einsatz. In einem besonders gefährdeten Bereich wurden rote Kunststoffplättchen senkrecht stehend quer über die Fahrbahn montiert.

Im Bereich enger Kurven unter Fahrdrabt wie in Kray und am Viehofer Platz wurden Nagelreihen auf dem Pflaster angebracht, um dem Duo-Bus-Fahrer eine Fahrhilfe zu geben und Stromabnehmerentgleisungen zu vermeiden.

An den Eindrahtstellen sind außer Farbmarkierungen auf der Fahrbahn an zwei wichtigen Haltestellen einseitige Leitkanten montiert worden, die die genaue Positionierung der Duo-Busse ermöglichen. Hier wäre fehlerhaftes Andrahten für die nachfolgenden Straßenbahnzüge besonders hinderlich.

6.2 Winterbetrieb

Bei Schneefall kann sich auf den Spurbus-Fahrwegen eine glatte, festgewalzte Oberfläche bilden, die das Befahren von Steigungen und das Bremsen unmöglich macht. Während in den Tunnelrampen eine elektrische Fahrbahnbeheizung eingebaut wurde, ist für die übrigen Strecken ein Mehrzweck-Lkw beschafft worden, der mit Spurführungseinrichtungen (für beide Fahrtrichtungen wirkend) ausgerüstet ist und im Winter mit einem Streuautomaten bestückt wird.

6.3 Technische Erfahrungen

Die gewählten Konstruktionen der Fahrwege haben sich bisher als dauerhaft und wartungsarm erwiesen. Besonders die Abschnitte mit Betonfertigteilen ergeben eine sehr gute Laufqualität. Einzelne Setzungen von Fundamentierungen konnten durch Hebung und Verpressen leicht beseitigt werden.

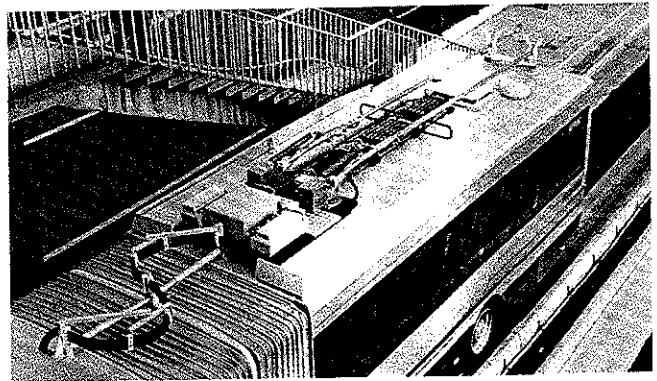
Naturgemäß läßt sich ein endgültiges Urteil über die Höhe der Instandhaltungskosten erst nach langjähriger Erfahrung abgeben – wie bei jeder neuen Oberbauform.

Tabelle 1. Daten der Duo-Spurbusse.

Typ	0405 GTD
Hersteller	Daimler-Benz/AEG
Baujahr	1986/87
Serie	3711 bis 3728
Länge	17430 mm
Breite	2500 mm
Höhe (mit Stromabnehmer)	3400 mm
Fußbodenhöhe	710 mm
Leergewicht	18450 kg
zulässiges Gesamtgewicht	28790 kg
Dieselmotor	177 kW bei 2200 min ⁻¹
Elektromotor	750 V 220 kW fremdbelüftet
Gleichstromsteller	GTO 500 Hz
Sitzplätze	51
Stehplätze	100
Höchstgeschwindigkeit	
Dieselbetrieb	circa 70 km/h
Elektrobetrieb	circa 60 km/h
Wagensteuergerät	Geamatic C/Mikroprozessor
Stromabnehmer	Typ Dornier 2/84, kunststoffummantelte Aluminiumstangen; Elektromotorantriebe für Schwenk- und Hubbetrieb
Hilfsbetriebeumformer	750 V 9 kW 2000 min ⁻¹
Bremsen	Zweikreis-Druckluftbremsanlage; Federspeicheranlage; Retarder im automatischen Getriebe bei Dieselbetrieb; generatorische Widerstands- und Netzbremse bei E-Betrieb
Türen	Elektropneumatisch betätigte Innenschwengeltüren; rechtsseitig 3 Doppeltüren, linksseitig 2 Doppeltüren
Heizung	Warmwasserheizung mit Frontheizgerät und sechs Untersitzheizgeräten; Wärmetauscher 750 V 22 kW für E-Betrieb
Ausrüstung für Tunnelbetrieb	Magnetische Fahrsperrung, Induktive Meldungübertragung, Erdungsbügel für Bahnerdung auf dem Straßenbahngleis

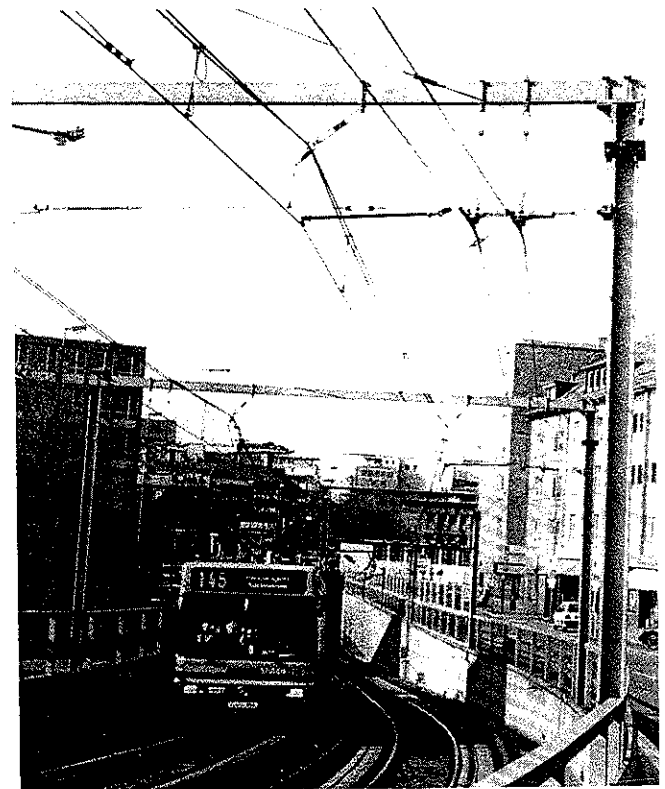
Beim Entwurf der Fahrzeugantriebe wurden die Erkenntnisse aus dem ersten, in Eßlingen am Neckar durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Duo-Bus“ [3] ausgewertet. Es wurde entschieden, den elektrischen Antrieb mit Gleichstrommotor und Gleichstromsteller einzuführen und diesen ebenso wie auch den Dieselantrieb auf die Hinterachse wirken zu lassen (Bild 5). Somit hat der Bus bei beiden Betriebsarten dasselbe Traktions- und Fahrverhalten nach dem bewährten Schubgelenkbusprinzip. Die Antriebsachse erhielt eine pneumatisch geschaltete Kupplung, die den jeweils nicht benutzten Antrieb mechanisch auskuppelt. Die elektrische Ausrüstung befindet sich weitestgehend im Nachläufer, um kurze Leitungswege zu erhalten. Die elektronischen Geräte sind überwiegend in den Dachvouten untergebracht. Neben dem elektronischen Wagensteuergerät für Fahren und Bremsen (mit Netz- und Widerstandsbremse) ist der Duo-Bus mit elektronischer Knickschutzregelung, elektronisch gesteuertem Gaspedal und elektronischem Antiblockiersystem ausgerüstet.

Die Stromzuführung erfolgt über zwei motorisch betriebene Leichtbau-Stromabnehmer (Bild 6) in der prinzi-

**Bild 6.** Dachausrüstung des Duo-Spurbusses: Stromabnehmer mit Elektro-Hub- und Schwenkantrieb, Bremswiderstand, Block mit Schutzgeräten.

piell vom Obus bekannten Ausführung mit Schleifschuhen, wobei die hier gewählte Ausführung im bereits erwähnten Eßlinger Vorhaben entwickelt wurde. Eine Fernsteuerung erlaubt dem Fahrer, in den Positionen „Mitte“ und „rechts“, je nach Fahrdrachtlage, „anzudrücken“. Außerdem besitzen die Duo-Busse einen Erdungsbügel, der sich an den Haltestellen auf die Straßenbahnschiene absenkt und den Bus bahnerdet. Nur auf diese Weise läßt sich der Bus beim Bruch der Straßenbahn-Oberleitung gegen gefährliche Berührungsspannungen und sonstige Folgen der Spannungsverschleppung wie Reifenbrand schützen.

Als Besonderheit der Essener Einsatzbedingungen mußten die Duo-Busse mit zwei linksseitigen Türen zur Be-

**Bild 7.** Duo-Spurbus bei der Ausfahrt aus dem Tunnel. Fahrweg für Duo-Bus mit Spurführung und Straßenbahn, Straßenbahn-Oberleitung als Hochkette, Duo-Bus-Oberleitung in Schmalbauweise, Aufhängung an Portalen.