

SPURBUS ESSEN

Spurbusbetrieb im Tunnel

Eine Informationsschrift
zum Forschungs-
und Entwicklungsvorhaben
Spurbus Essen
(Dual-Mode-Bus)

Das Vorhaben wird gefördert vom
Bundesministerium für Forschung und Technologie
(BMFT)

3170

GUIDED BUS ESSEN

Guided Bus Operation in Tunnels

*Information on the
Research and Development Project
Guided Bus Essen*

*The project is sponsored by the
Federal Ministry of Research and Technology
(BMFT)*

Spurbusbetrieb im Tunnel

Planung – Realisierung – Betriebserfahrungen

Guided Bus Operation in Tunnels

Planning – Implementation – Operational Experience

1. Einleitung

Eine spürbare Attraktivitätssteigerung des Nahverkehrssystems Bus ist in Ballungszentren nur durch das weitgehende Herauslösen der Busse aus dem Individualverkehr möglich. Da der vorhandene Straßenraum für die Anlage separater Busfahrwege gerade in den Ballungszentren nur in einem sehr eingeschränkten Maße verfügbar ist, müssen auch unkonventionelle Wege zur Nutzung vorhandener Infrastruktur für Busse beschritten werden. Eine Möglichkeit stellt hier die Mitbenutzung von Straßenbahn- und Stadtbahntunneln durch Busse dar. Diese Mischnutzung der Tunnelanlagen bietet folgende Vorteile:

- Bessere Auslastung der vorhandenen und kostenintensiven Tunnelanlagen.
- Eigener Busfahrweg ohne Behinderung durch den IV und dadurch kürzere Fahrzeit und höhere Pünktlichkeitsrate.
- Direkte Umsteigemöglichkeit von Bus auf Straßen-/Stadtbahn auf einem Bahnsteig ohne Niveauunterschied.

Trotz dieser Vorteile ist in der Bundesrepublik Deutschland bisher keine gemeinsame Nutzung von Tunnelanlagen durch Busse und Schienenfahrzeuge erfolgt. Folgende Gründe können hierfür maßgeblich angeführt werden:

- Der Tunnelbetrieb muß entweder abgasfrei erfolgen (Einsatz teurer Elektrotraktion), oder es muß für eine Abführung des Abgases aus dem Tunnel gesorgt werden, um unzulässige Schadstoffkonzentrationen in den Tunnelanlagen zu verhindern.
- Bei Schienenverkehrsmitteln ist die „Fahrt auf Sicht“ in Tunnelanlagen untersagt (BOStrab §49 Abs. 2). Da die Begründung hierfür die ungewohnten und schlechten Sichtverhältnisse im Tunnel sind, wird gleiches auch für einen Mischbetrieb im Tunnel gelten, wodurch eine bisher technisch noch nicht realisierte Einbindung der Busse in das Signalisierungssystem der Schienenbahnen erforderlich wird.

1. Introduction

It is only possible to make any noticeable increase in the attractiveness of the bus as a system of public transport in conurbations by separating it as far as possible from private transport. As precisely in the conurbations there is only a very limited amount of road space available for the construction of separate bus lanes, it is also necessary to make use of unconventional ways of taking advantage of the existing infrastructure. One possibility of doing this is to use tram and light-rail rapid transit tunnels for bus operation. This joint use offers the following advantages:

- *Improved capacity utilisation of existing cost-intensive tunnel facilities.*
- *Buses have their own guideway and are thus not obstructed by private transport, resulting in shorter travel times and a higher punctuality rate.*
- *Possibility of direct transfer from bus to tram / light rail rapid transit on one platform with no height difference.*

In spite of these advantages, there has been no joint use of tunnel facilities by buses and rail vehicles in Germany to date. The following reasons can be given for this:

- *Tunnel operation must either be exhaust-free (using expensive electrotraction), or there must be a possibility of extracting exhaust fumes from the tunnel in order to prevent inadmissible concentrations of exhaust gases in the tunnel area.*
- *For rail vehicles it is forbidden to drive in tunnels using "visual guidance" (BOStrab §49 Paragraph 2). As the reasons for this are based on the unaccustomed and poor visibility in tunnels, the same will apply to joint operation in tunnels; this, in turn, will necessitate the integration of buses into the signalling system used by rail vehicles, which has not yet been technically realised.*

- Die Mitbenutzung der Schienenverkehrswege erfordert eine genaue Lenkung der Busse, die nur durch eine Spurführung realisiert werden kann.

Mit Förderung des BMFT sollen für den Mischbetrieb von Schienenbahnen und Bussen in Tunnelanlagen Lösungsansätze erarbeitet und im praktischen Betrieb erprobt und demonstriert werden, um die bestehenden Hemmnisse für den Mischbetrieb abzubauen und so vorhandene Infrastruktur der Schienenverkehrsmittel auch für das Busverkehrssystem nutzbar zu machen. Gleichzeitig soll auch eine noch engere Verzahnung beider Verkehrsmittel erreicht werden.

Entsprechend dieser Zielsetzung sowie eines möglichst effektiven Mitteleinsatzes bot es sich an, dieses Vorhaben in Essen im Rahmen der Spurbuserprobung durchzuführen.

Die nachfolgenden Beschreibungen gliedern sich in die Bereiche

- Planung des Tunnelbetriebes,
- Realisierung des Vorhabens,
- Betriebskonzept,
- Betriebserfahrungen im Tunnelbetrieb sowie
- Ausblick und Übertragbarkeit.

Eine Photodokumentation als Anhang zeigt den realisierten Ausbaustand.

- *The joint use of railway tracks requires accurate steering of the buses and this can only be ensured by the use of guided bus technology.*

With the aid of sponsorship by the BMFT it is intended to draw up approaches to solutions for the joint operation of rail vehicles and buses in tunnels and to test and demonstrate these solutions in practical operation in order to remove existing obstacles to joint operation and thereby make it possible for the bus transport system to make use of the available rail vehicle infrastructure. At the same time an even closer interconnection of the two means of transport is to be aimed at.

In view of these objectives and in order to make maximum and most effective use of available means it seemed appropriate to carry out this project in Essen within the framework of guided bus tests.

The following descriptions are divided up into the areas of:

- *Planning tunnel operation*
- *Implementation of the project*
- *Operational concept*
- *Operational experience in tunnel operation*
- *Future prospects and transferability*

Photographic documentation is given in an Appendix to show the state of implementation at present realised.

2. Planung des Tunnelbetriebes

Der in Essen vorgesehene Spurbusbau legte die Mitbenutzung eines ca. 2,6 km langen Tunnelabschnittes im Bereich der Innenstadt nahe, mit dem der spurgeführte Abschnitt nach Essen-Kray gut an das Schienennetz der EVAG angebunden werden konnte. Dabei wurde zunächst die Umrüstung eines ca. 1.000 m langen Tunnelabschnittes zwischen VHS und Viehofer Platz zur Sammlung praktischer Erfahrungen vorgesehen. Da der Straßenbahnbetrieb auch während der Umbauphase zur Nachrüstung der Spurbuskomponenten nicht beeinträchtigt werden sollte, wurden die notwendigen Komponenten und Systeme zunächst in einem oberirdischen Testabschnitt, der Wittenbergstraße, ausgetestet. Die Umrüstung des Tunnels soll erst nach Nachweis der Praxistauglichkeit der jeweiligen Komponenten durchgeführt werden.

Bezüglich der Abgasproblematik wurde eine Entscheidung zugunsten des abgasfreien Betriebes mit Duo-Bussen und konventioneller Obusstromabnahme mit Stangenstromabnehmern getroffen. Diese Entscheidung fiel maßgeblich aufgrund der vorgesehenen Elektrifizierung der Spurbusstrecke im Bereich des Ruhrschnellweges und der Streckenabschnitte in Essen-Kray. Somit ergab sich die Notwendigkeit, folgende Komponenten und Systeme zu entwickeln:

- ☐ Spurbusfahrweg für nachträgliche Verlegung in ein vorhandenes Straßenbahngleis,
- ☐ kombinierte Spurbus-/Schienenweiche,
- ☐ Ein- und Ausfädelungsrampen, Stromversorgungssystem für den Duo-Bus-Betrieb einschließlich Klärung der Aspekte der elektrischen Sicherheit unter den besonderen Bedingungen des Mischbetriebes,
- ☐ Sicherungssystem für Spurbusse zur Integration der Fahrzeuge in das Blocksicherungssystem der Straßenbahn.

In einer weiteren Ausbauphase ist auch die Mitbenutzung eines Tunnelabschnittes mit Mittelbahnsteigen vorgesehen (Ost-West-Spange), wodurch dann auch linksseitige Türen in den Duo-Bussen erforderlich werden. Daher wurde die Option linksseitiger Türen bereits bei der Bestellung der für den Tunnelbetrieb vorgesehenen Fahrzeuge berücksichtigt.

2.1 Spurbusfahrweg für den Mischbetrieb

Der Spurbusfahrweg für den Mischbetrieb weist gegenüber dem normalen Spurbusfahrweg Besonderheiten auf, die Konsequenzen für seine praktische Ausgestaltung haben:

- ☐ Der Fahrweg ist elastisch auf den Schwellen der Straßenbahn gelagert.
- ☐ Der Fahrweg ist aufgrund der Spurbreite der Straßenbahn (Meterspur) asymmetrisch.

2. Planning tunnel operation

The planned extension of the guided bus system in Essen suggested the joint use of a tunnel section of approx. 2.6 km in length in the inner city area, by means of which the guided section to Essen-Kray could be conveniently connected to the EVAG rail network. For this it was intended initially to convert a tunnel section of approx. 1,000 m in length between VHS and Viehofer Platz in order to gain practical experience. As tram operation was not to be interrupted during the conversion phase needed for adding guided bus facilities, the necessary components and systems were first tested in an above-ground test section, Wittenbergstraße. The tunnel is not to be converted until the practical feasibility of the relevant components has been adequately demonstrated.

With regard to the exhaust problem, a decision was made in favour of exhaust-free operation using duo-buses and conventional trolleybuses with pole-formed power collectors. This decision was made in principle as a result of the intended electrification of the guided bus route in the area of Ruhrschnellweg and the route sections in Essen-Kray. There thus resulted the need to develop the following components and systems:

- ☐ guided bus guideway to be constructed in an existing tram rail,
- ☐ combined guided bus and rail switch,
- ☐ entry and exit ramps, power supply system for duo-bus operation including clarification of aspects of electrical safety under the special conditions of joint operation,
- ☐ security system for guided buses in order to integrate the vehicles into the block protection system of the tram.

In a further development phase the joint use of a tunnel section with central platforms is planned (Ost-West-Spange), which would necessitate doors located on the left-hand side of the duo-bus. For this reason the option of doors on the left-hand side was already considered when ordering the vehicles for tunnel operation.

2.1 The guideway for joint operation

The guideway for joint operation has some features which are different to those used for normal guided bus guideways and these different features have consequences for the practical design:

- ☐ The guideway is mounted elastically on the tram sleepers.
- ☐ The guideway is asymmetrical due to the gauge of the tram (metre track).

Inhalt**Contents**

1. Einleitung	1	1. Introduction	1
2. Planung des Tunnelbetriebes	3	2. Planning tunnel operation	3
2.1 Spurbusfahrweg für den Mischbetrieb	3	2.1 The guideway for joint operation	3
2.2 Straßenbahn-/Spurbusweiche	5	2.2 Tram/guided bus switch	5
2.3 Ein- und Ausfädelungsrampe	6	2.3 The entry and exit ramp	6
3. Stromversorgungssystem für den Duo-Bus	7	3. The power supply system for the duo-bus	7
3.1 Unterwerksauslegung	7	3.1 The rectifier substation design	7
3.2 Tunnelfahrleitung	8	3.2 The tunnel catenary system	8
3.3 Elektrische Sicherheit	8	3.3 Electrical safety	8
4. Das Streckensicherungssystem	10	4. The route protection system	10
4.1 Sicherungssystem der EVAG für den Spurbus	10	4.1 The EVAG protection system for the guided bus	10
5. Betriebskonzept für den Tunnelbetrieb ...	13	5. Operational concept for tunnel operation ..	13
5.1 Räumungsfahrt	13	5.1 The clearing trip	13
5.2 Störungen im Sicherungssystem	13	5.2 Malfunctions in the protection system	13
6. Betriebserfahrungen im Tunnelbetrieb ...	14	6. Operational experience in tunnel operation	14
7. Ausblick, Übertragbarkeit	15	7. Future prospects, transferability	15
7.1 Weiteres Vorhaben in Essen	15	7.1 Further procedure in Essen	15
7.2 Übertragbarkeit	15	7.2 Transferability	15
Anhang	17	Appendix	17

Impressum:

Herausgeber:	Essener Verkehrs-AG Zweigertstraße 34, 4300 Essen 1
Redaktion:	Dipl.-Ing. Jochen Boegner (EVAG), Dipl.-Ing. Manfred Starck (SNV)
Englische Übersetzung:	Andrew Elliot, Hamburg
Satz:	SNV Studiengesellschaft Verkehr mbH, Hamburg
Druck und Verarbeitung:	Leopold Korst GmbH, Hamburg
Schutzgebühr:	DM 5,-

Vorwort des Vorstandes

Die Eröffnung der Demonstrationsstrecke für den spurgeführten Omnibus (Spurbus) im Tunnel war ein weiterer Schritt zur Ergänzung des Beförderungsangebotes der Essener Verkehrs-AG.

Damit zeigte der Spurbus erneut seine Flexibilität und Wirtschaftlichkeit und verstärkte seine Bindegliedfunktion zwischen den beiden Systemen Schiene und Omnibus.

Die Herausforderung an den öffentlichen Personennahverkehr sind eher gestiegen – der Spurbus hilft besonders auch in seinem unterirdischen Einsatz, diesen Herausforderungen gemessen zu begegnen.

Dank allen, die Schwierigkeiten zum Trotz die Weiterentwicklung vorangetrieben haben.

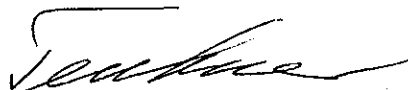
Prefactory remarks from the Board of Management

The opening of the demonstration track for the guided bus in a tunnel was a further step towards supplementing the transportation service offered by the Essener Verkehrs-AG.

In this way the guided bus system has again shown its flexibility and efficiency and enhanced its function as a link between both systems, the light rail system and the bus system.

The challenges faced by public transportation have tended to rise – the guided bus system assists in meeting these challenges appropriately, especially by making use of light rail or tramway tunnels.

Our thanks to all those who in spite of difficulties have helped further this development.



Dipl.-Ing. Wolfgang Teubner

- Der Fahrweg muß für Wartungsarbeiten am Gleisbett schnell und problemlos demontierbar sein.
- Die Geometrie der Fahrweg- und Spurführungselemente muß so beschaffen sein, daß eine Verlegung der Elemente im Lichtraumprofil des Tunnels mit konventionellen Mitteln durchführbar ist.

Unter diesen Randbedingungen wurden drei Systeme der Firmen „Züblin“, „Richtberg“ und „Krupp“ erprobt. Eine detaillierte Beschreibung der drei Systeme erfolgte im Meilensteinbericht V sowie in den Berichtsbänden zu den Statusseminaren, so daß hier nur die Ergebnisse der Erprobung dargestellt werden sollen.

Das Stahl-Beton-System der Firma Züblin zeichnete sich sowohl als kostengünstigste Variante als auch durch seine einfache und schnelle Montage aus. In der Erprobung traten jedoch aufgrund des elastischen Unterbaus Vertikalschwingungen auf, die sowohl Geräusche verursachten als auch durch ihre Regelmäßigkeit zu einer Beeinträchtigung des Fahrkomforts führten. Diese Probleme lassen sich jedoch durch eine Änderung der Fahrwegelementlänge sowie Anordnung und Gestaltung der Elementstöße lösen, wie in Einzelversuchen nachgewiesen wurde.

Die Stahl-Holz-Verbundbauweise der Firma Richtberg hat zu den besten Ergebnissen bezüglich Laufruhe und Lagegenauigkeit der Elemente geführt. Der anfänglich nicht ausreichende Oberflächenreibbeiwert konnte durch eine Quarz-Sand-Beschichtung nachhaltig und dauerhaft verbessert werden.

Das Stahl-Beton-System der Firma Krupp, bei dem der Spurbusfahrweg elastisch mit dem Schienenfahrweg verbunden ist, erwies sich aufgrund der auftretenden Verschiebungen der Fahrwegelemente als für den Tunnelbetrieb nicht haltbar genug. Da auch Sanierungsversuche zu keiner dauerhaften Lösung führten, wurde dieses System nach 2-jähriger Erprobung wieder demontiert.

Als Fazit läßt sich sagen, daß die Systeme „Züblin“ und „Richtberg“ für den Tunnelbetrieb geeignet sind. Beim System „Züblin“ sind gegenüber der Erprobungsstrecke Optimierungen bezüglich Elementlänge und der Anordnung und Gestaltung der Elementstöße sinnvoll.

Für den ersten Tunnelabschnitt zwischen VHS und Viehofer Platz wurde das System Richtberg gewählt, welches ohne besondere Modifikation in der optimierten Teststreckenausführung übernommen werden konnte.

Der Anwendungsfall Essen ist hinsichtlich der Streckengeometrie durch eine Besonderheit gekennzeichnet, auf die hier noch eingegangen werden soll.

Die für den Spurbus-/Straßenbahnmischbetrieb vorgesehenen Tunnelstrecken sind bereits für eine

- It must be possible to dismantle the guideway quickly and unproblematically for maintenance work on the track bed.
- The geometry of the guideway and guidance elements must be such that it is possible to transfer the elements in the clearance gauge of the tunnel using conventional means.

Based on these framework conditions three systems by „Züblin“, „Richtberg“ and „Krupp“ were tested. A detailed description of the three systems was given in the milestone report as well as in the reports on the status seminars. For this reason only the results of the tests are shown here.

The steel-concrete system developed by Züblin proved to be the most cost-favourable variant and was easy and quick to install. However, during testing vertical vibrations occurred as a result of the elastic substructure, which both caused noise and, as these occurred regularly, detracted from driving comfort. But these problems can be solved by altering the length of the guideway elements and through relocation and design of the element contact points, as was demonstrated in individual tests.

The steel-wood sandwich construction by Richtberg showed the best results with regard to smoothness of running and correct positioning of the elements. A lasting and durable improvement in the initially insufficient skid number was later achieved by means of a quartz-sand coating.

The steel-concrete system by Krupp, in which the guideway is connected elastically to the track, proved to be insufficiently stable for use in tunnels due to the fact that the guideway elements did not stay in position. As in spite of attempts to improve the situation, it proved impossible to find a long-term solution to this problem, this system was dismantled after a 2-year test period.

To sum up, it can be said that the „Züblin“ and „Richtberg“ systems are suitable for tunnels operation. In the case of the „Züblin“ system, optimisations compared with the test route in connection with element length and positioning and design are desirable.

The Richtberg system was selected for the first tunnel section between VHS and Viehofer Platz and this was taken over without any special modification in the optimised test route version.

The Essen application is characterised by one special feature in connection with the route geometry, which will be described here.

The tunnel sections intended for guided bus/tram joint operation are already planned for later use by light rail rapid transit. Accordingly, the sleepers are already designed for the standard light rail rapid transit gauge. On the left-hand side they therefore extend asymmetrically beyond the central axis of the metre-gauge tram rails. This constellation thus necessitates an asymmetrical guideway for the guided bus.

spätere Nutzung durch die Stadtbahn vorgesehen. Entsprechend sind auch die Schwellen bereits für die Normalspur der Stadtbahn ausgelegt. Sie ragen daher auf der linken Seite asymmetrisch aus der Mittelachse der meterspurigen Straßenbahnschienen heraus. Aufgrund dieser Konstellation ergibt sich auch ein asymmetrischer Spurbusfahrweg.

Auf der linken Seite fährt der Bus sowohl mit dem Vorderrad als auch beiden Zwillingsreifen hinten auf dem Spurbusfahrweg. Auf der rechten Seite fährt der Vorderreifen auf dem Spurbusfahrweg, während der innere Zwillingsreifen teilweise auf dem Spurbusfahrweg und teilweise auf der rechten Schiene der Straßenbahn fährt (bei einem Stadtbahn-/Spurbusfahrweg würde dies auch für den linken Fahrstreifen gelten).

2.2 Straßenbahn- / Spurbusweiche

Für den Tunnelbetrieb ergibt sich die Notwendigkeit, kombinierte Straßenbahn-/Spurbusweichen zu verwenden. Entsprechend der Philosophie, im Tunnel nur erprobte Komponenten zu verwenden, wurden auch die Weichen zunächst in der Wittenbergstraße einer Erprobung im Oberflächenverkehr unterzogen.

Dabei kamen zwei Weichensysteme, die Hubkantenweiche der Firma Krupp sowie die Schwenk-/Biegekantenweiche der Firma Züblin zum Einsatz. Beide Weichentypen sind im Meilensteinbericht V ausführlich beschrieben, so daß hier wiederum nur die Erprobungsergebnisse dargestellt werden sollen. Die Hubkantenweiche zeichnet sich durch eine kurze Stellzeit aus. Die elastische Lagerung der Schienenweiche führte jedoch gelegentlich zum nicht korrekten Erreichen der Endlage. Zudem erfordert der nachträgliche Einbau der Hubkantenweiche in einem bestehenden Fahrweg aufgrund der Integration der Spurbusweiche in die Schienenweiche die Auswechslung eben dieser. Dadurch ergeben sich beim nachträglichen Einbau einer Hubkantenweiche entsprechend hohe Kosten.

Bei der Schwenk-/Biegekantenweiche hingegen sind Schienen- und Spurbusweiche nur elektrisch gekoppelt, wodurch auch ein nachträglicher Einbau in einen bestehenden Schienenfahrweg möglich ist. Da dieser Weichentyp in der Erprobung auch eine hohe Zuverlässigkeit aufgewiesen hat, sollte die Schwenk-/Biegekantenweiche auch im Tunnel verwendet werden, da hier der Fall des nachträglichen Einbaus der Spurbusweiche vorliegt. Angesichts der hohen Kosten einer schaltbaren Weiche ist jedoch tatsächlich nur eine passive Weiche realisiert worden. Zur Ausfädelung der Straßenbahn wurde die Spurführung des Busses einseitig unterbrochen (eine Verzweigung des Spurbusses findet in der ausgeführten Trassierung nicht statt), der Fahrer lenkt den Bus manuell gegen die gegenüberliegende Spurführung. Diese Lösung hat sich in der Praxis gut bewährt.

On the left-hand side, the bus runs both with the front wheel and the two rear twin tyres on the guideway. On the right-hand side the front tyre drives on the guideway while the inner twin tyre runs partly on the guideway and partly on the tram track. (In the case of a light rail rapid transit/guided bus guideway this would also apply to the left-hand side).

2.2 Tram / guided bus switch

For tunnel operation it is necessary to use combined tram/guided bus switches. In accordance with the philosophy of only using tried and tested components in tunnels, also the switches were first subjected to a surface traffic test in Wittenbergstraße.

Here two switch systems – the lifting edge switch by Krupp and the bending rail switch by Züblin – were used. Both switch types are described in detail in Milestone Report V and therefore only the results of the tests will be given here. The lifting edge switch proved to require only a short time for setting. However, the elastic mounting of the track switch occasionally resulted in the final position not being correctly reached. On top of this, later installation of the lifting edge switch in an existing track means that the track switch has to be exchanged in order to integrate the guided bus switch into the track switch. This leads to correspondingly higher costs for the later installation of a lifting edge switch.

In the case of the bending rail switch on the other hand, the track and guideway switch are electrically linked, making later installation in an existing railway track possible. As this type of switch proved to be extremely reliable in tests, the bending rail type of switch should also be used in tunnels, as here the guided bus switch has to be installed later. In view of the high cost of an electronic switch, however, only a passive switch has actually been installed. In order to enable the tram to leave the guideway, the bus guideway was interrupted on one side (there is no branching off of the guided bus in the route implemented), and the driver steers the bus manually against the opposite guideway. This solution proved to be a good one in practice.

2.3 Ein- und Ausfädelungsrampe

Der Spurbus muß sich in dem gemeinsamen Tunnelfahrweg von Straßenbahn und Spurbus über Rampen ein- und ausfädeln. Die dabei zu bewältigenden Steigungen müssen auch im Winterbetrieb zuverlässig befahren werden können. Es hat sich gezeigt, daß hierfür eine Schnee- und Eisbeseitigung auf den Fahrweegelementen erforderlich ist. Die fahrzeugseitige ASR-Einrichtung zögert dabei die Notwendigkeit der Schnee- und Eisbeseitigung hinaus.

Im Fall Essen hat man sich für die Beheizung der Rampen entschieden. Auf diese Weise läßt sich die Eisbildung im Rampenbereich von vornherein verhindern, so daß auch bei überraschender Vereisungsgefahr ein sicheres Befahren der Rampen möglich ist. An dieser Stelle sei angemerkt, daß schnee- und eisreiche Winter in Essen vergleichsweise selten sind.

Die Alternative zur Rampenheizung, ein Abstreuen der Rampen mit Tausalz, wurde verworfen. Es hatte sich bei den mit dieser Methode durchgeführten Versuchen gezeigt, daß sich negative Auswirkungen auf den Straßenbahnbetrieb ergeben. Das elektrisch leitfähige Tauwasser führte zu gelegentlichen Störungen im Sicherungssystem.

2.3 The entry and exit ramp

The guided bus must enter and leave the joint tunnel roadway for tram and guided bus via ramps. It must be possible to handle the inclinations without difficulty also during winter operation. Experience has shown that snow and ice have to be cleared from the guideway elements for this purpose. Here the anti-skid-control facility on the vehicle delays the necessity for clearing snow and ice.

In the case of Essen it was decided to heat the ramps. In this way ice formation in the area of the ramps can be prevented from the outset, meaning that the ramps can be driven over safely even if there is a sudden onset of icing. It should, however, be pointed out that severe winters with large amounts of snow and ice are relatively rare in Essen.

The alternative to ramp heating – spreading salt on the ramps – was rejected. Tests carried out using this method showed that there were negative effects on tram operation. The water from the thawing snow and ice is able to conduct electricity and this led to occasional breakdowns in the security system.

3. Stromversorgungssystem für den Duo-Bus

Nachdem entschieden war, daß der Betrieb im Tunnel elektrisch erfolgen sollte, stellte sich die Frage nach der Stromversorgung und dem Stromabnehmersystem.

Sofern die elektrische Traktion nur in den Streckenabschnitten mit Mischbetrieb und separatem Fahrweg zum Einsatz kommt, können wie bei der Straßenbahn Scherenstromabnehmer zur Stromaufnahme verwendet werden. Die Rückleitung erfolgt dann über die Schienen. Der Bus muß für diese Form der Stromabnahme mit einem Erdungsbügel bzw. auf den Schienen mitlaufendem Rad ausgerüstet werden, jedoch kann die Stromversorgungsinfrastruktur der Straßenbahn mitgenutzt werden. Fahrzeugseitig ist bei dieser Variante keine doppelte Isolierung erforderlich.

Im Falle Essen stand jedoch bereits fest, daß zumindest auch die Ortsdurchfahrt Kray elektrifiziert werden sollte, wo der Bus im normalen Straßenraum verkehrt. Daher mußte das konventionelle Stromversorgungssystem für Oberleitungsbusse – Stromabnahme über zwei Trolleystrangen – gewählt werden. Weiterhin verkehren die Straßenbahnen mit 600 V, während für die Spurbusse eine Nennspannung von 750 V geplant wurde. Dabei stellten sich folgende grundsätzliche Fragen:

- ☐ Kann ein Unterwerk gemeinsam für Spurbus und Straßenbahn genutzt werden?
- ☐ Wie kann die Fahrleitung im Tunnel installiert werden?
- ☐ Wie kann die elektrische Sicherheit hinsichtlich gefährlicher Berührungsspannung gewährleistet werden?

3.1 Unterwerksauslegung

In Essen stehen eine Reihe von Unterwerken für die Stadt- und Straßenbahn zur Verfügung. Es stellte sich daher die Frage, ob diese Unterwerke auch für die Stromversorgung der Duo-Busse mitbenutzt werden können, und wenn letztere Frage bejaht wird, ob eine elektrische Trennung der Schienenverkehrsfahrleitung von der Busfahrleitung erfolgen muß.

Aufgrund der örtlichen Lage der Unterwerke stellte sich die Frage einer gemeinsamen Nutzung nur für das Unterwerk Porscheplatz. Die beiden weiteren Unterwerke in Kray und am Ostpark versorgen nur die Fahrleitung für den Duo-Bus. Beim Unterwerk Ostpark handelt es sich um ein altes Straßenbahnunterwerk, welches für den Duo-Bus umgerüstet worden ist.

Eine elektrische Kopplung von Straßenbahn und Spurbus ist in Essen technisch nicht realisierbar, da die Straßenbahn mit einer Nennspannung von 600 V (die Umrüstung auf 750 V ist für die Zukunft geplant) betrieben wird, während der Duo-Bus, wie

3. The power supply system for the duo-bus

After it had been decided that electric operation was to be used in tunnels, the question arose as to what power supply and power collector system was to be used.

Inasmuch as electric traction is only used in the route sections with joint operation, diamond pantograph power collectors, as used for trams, can be employed. In the case of trams, power is fed back through the rails. For this form of power collection the bus must be equipped with an earthing unit and/or with a wheel also running on the rail, although the tram can then use the tram's power supply infrastructure. For this variant the vehicle must be furnished with double insulation.

In the case of Essen it had already been planned that at least the line through Kray was to be electrified, where the bus travels on the normal road. For this reason the conventional power supply system for trolleybuses – power collection via two trolley poles – was selected. The trams still run with 600 V whereas a nominal voltage of 750 V was planned for the guided buses. In this connection the following fundamental questions arose:

- ☐ Can a rectifier substation be jointly used both for the guided bus and the tram?
- ☐ How can the catenary system be installed in tunnels?
- ☐ How can electrical safety be ensured with regard to dangerous contact voltage?

3.1 The rectifier substation design

In Essen, a number of rectifier substations are available for light rail rapid transit and tram. The question is whether these rectifier substations can also be used for supplying duo-buses with power and if so, whether the rail traffic catenary system must be separated from the bus catenary system.

Due to the location of the rectifier substations, the question of combined use only applies to the Porscheplatz substation. The other two substations in Kray and at the Ostpark supply only the catenary system for the duo-bus. The Ostpark substation is an old tram rectifier substation, which has been converted for duo-bus use.

It is not technically possible to combine the tram and guided bus electrically in Essen as the tram operates at a nominal voltage of 600 V (conversion to 750 V is planned for the future), whereas the duo-bus, as already mentioned, is designed for a nominal voltage of 750 V. This means that it would only be possible to combine it electrically with the light rail rapid transit system. However, this possi-

bereits erwähnt, auf eine Nennspannung von 750 V ausgelegt ist.

Somit wäre eine elektrische Verbindung nur mit der Stromversorgung der Stadtbahn möglich. Diese Möglichkeit wurde jedoch verworfen, da einerseits der Spurbus die Stadtbahn nicht tangieren sollte und andererseits sicherheitstechnische Nachweise hätten erbracht werden müssen, die bei dieser technisch unerprobten Konstellation den gesamten Projektfortschritt allein aus Zeitgründen erheblich hätten gefährden können.

Für das Unterwerk Porscheplatz wurde daher für die Duo-Bus-Stromversorgung ein eigener Gleichrichter eingesetzt. Dadurch konnten die Anschlüsse seitens des EVU mitbenutzt werden. Streckenseitig ist diese Gleichrichtereinheit jedoch völlig von der Stromversorgung für die Schienenverkehrsmittel entkoppelt. Damit stehen für den Duo-Busbetrieb insgesamt drei Unterwerke zur Verfügung, die elektrisch vollständig von der Stromversorgung für die Schienenverkehrsmittel entkoppelt sind.

3.2 Tunnelfahrleitung

Die Installation der Fahrleitung im Tunnel erfordert eine besondere Konstruktion, da die übliche oberirdisch verlegte Mischfahrleitung mit einem nach oben abgespannten Querausleger aufgrund der im Tunnel zu geringen verfügbaren Bauhöhe nicht realisiert werden kann. Zudem ließe sich eine solche Fahrleitungskonstruktion nur unter Beeinträchtigung des Straßenbahnbetriebes realisieren. Eine solche Beeinträchtigung sollte jedoch vermieden werden. Somit wurde für den Tunnelbereich eine Aufhängung der Fahrleitung mit beweglichen Seitenhaltern entwickelt. Diese Seitenhalter sind an der Tunneldecke abgehängt. Somit kann die Montage der Fahrleitung für den Duo-Bus ohne Beeinträchtigung der Straßenbahn erfolgen.

Auch diese Konstruktion ist, entsprechend der Philosophie, nur erprobte Komponenten im Tunnelbetrieb einzusetzen, an der Oberfläche vorher erprobt worden. Die Tunneldecke wurde hierbei durch eine Trägerkonstruktion nachempfunden. Daher konnte die Eignung der geplanten Tunnelkonstruktion, insbesondere hinsichtlich des dynamischen Schwingungsverhaltens, nachgewiesen werden.

3.3 Elektrische Sicherheit

Der Mischbetrieb von Bussen und Straßenbahnen auf eigenständigen Trassen birgt ein erhöhtes Risiko hinsichtlich unzulässiger Berührungsspannung besonderer Art, wenn es zu einem Bruch der Straßenbahnfahrleitung kommt und diese auf dem Bus liegen bleibt. (Diese Situation ist auch bei einem Fahrleitungsbruch im normalen Straßenbahnbetrieb denkbar, jedoch ist das Risiko einer solchen Situation bei einem Mischbetrieb auf eigenständigen Trassen ungleich höher). Für die Businsassen besteht zunächst in einer solchen Situation kein Risiko, da im Bus keine Potentialdifferenz auftritt. Im Regelfall wird der Fahrleitungsbruch auch von

bility was rejected as, on the one hand the guided bus should not have any contact with light rail rapid transit, and on the other technical safety aspects would have had to be studied and this might have considerably endangered the progress of the project due to the time required for such a constellation which has not been technically tried and tested.

Therefore for the Porscheplatz rectifier substation an independent rectifier was installed for duo-bus power supply. This meant that the EVU could also make use of the connections. As far as the route is concerned, this rectifier unit is completely independent of the power supply for rail vehicles. There are thus a total of three rectifier substations available for duo-bus operation, which are electrically completely unconnected with the power supply for rail vehicles.

3.2 The tunnel catenary system

The installation of the catenary system in tunnels requires a special construction as it is not possible to install the usual above-ground mixed catenary system with a transverse support rod supported from above due to the low construction height available in tunnels. In addition, such a catenary system construction could only be realised with a detrimental effect on tram operation. However, disruptions in tram operation were to be avoided. For this reason, a suspended catenary system with flexible side supports was developed for tunnel installation. These side supports are suspended from the tunnel ceiling. In this way it is possible to install the catenary system for the duo-bus without any detrimental effects on tram operation.

In accordance with the philosophy of using only tried and tested components for tunnel operation, this construction too was first tested in surface use. For this purpose the tunnel ceiling was simulated by a support construction. In this way, the suitability of the planned tunnel construction, especially with regard to dynamic vibration, was amply demonstrated.

3.3 Electrical safety

The mixed operation combining buses and trams on independent rights-of-way does incorporate a high risk with regard to inadmissible contact voltage of a special kind if there is a break in the tram catenary system and the transmission line falls onto the bus. (Such a situation is also conceivable in the event of a normal break in the catenary system, although the risk of such a situation occurring with joint operation on independent rights-of-ways is incomparably higher.) For bus occupants there is at first no risk in such a situation as there is no potential difference in the bus. Also, as a rule the break in the transmission line is recognised by the

der Fehlerstromüberwachung in diesem Streckenabschnitt erkannt werden (z.B. wenn ein Teil der Fahrleitung die Bahnschiene berührt), so daß der entsprechende Streckenabschnitt automatisch abgeschaltet wird. Es ist jedoch denkbar, daß beide Enden der gebrochenen Fahrleitung auf dem Bus liegenbleiben. In diesem Fall kann bei einem gummiereiften Fahrzeug und trockenen Fahrbahnverhältnissen nicht mehr sichergestellt werden, daß die Fehlerstromüberwachung anspricht, da der Bus gegenüber dem Nullpotential isoliert ist.

Wird ein Fahrzeug unter solchen Bedingungen von außen berührt oder versucht ein Fahrgast ein solches Fahrzeug zu verlassen, liegt an dieser Person die volle Fahrleitungsspannung an. Ein evtl. tödlicher Unfall wäre die Folge. Aus diesem Grund wurde für den Mischbetrieb im Tunnel die Anforderung gestellt, daß eine solche Situation zumindest bei Stillstand des Busses nicht eintreten kann (während der Fahrt würde eine gebrochene Fahrleitung von selbst vom Bus herabrollen).

Zur Lösung dieses Problems bot sich eine „Erdung“ der Busse an der Straßenbahnschiene an. Im Falle einer Berührung der Straßenbahnfahrleitung mit dem Bus ergibt sich dann ein Kurzschluß der Straßenbahnfahrleitung, der zum Abschalten des Straßenbahn-Streckenabschnitts führt.

Der Erdungsschluß wurde technisch mittels eines Metallbügels realisiert, welcher sich bei Geschwindigkeiten < 3 km/h automatisch auf die Schiene absenkt. Die korrekte Absenkung wird dem Fahrer angezeigt. Als Sicherheit für die Fahrgäste lassen sich die Türen regulär nur bei abgesenktem Erdungsbügel öffnen. Der doppelte Erdungsbügel läßt sich jedoch auch manuell mittels Seilzug in seine obere Endlage bringen, um auch bei defekter Pneumatik das Fahrzeug aus dem Tunnel herausfahren zu können. Die Praxiserfahrungen haben aber gezeigt, daß es notwendig ist, die Türen auch manuell bei nicht korrekt anliegendem Erdungsbügel öffnen zu können, da gelegentliche Fehlfunktionen dieses Systems aufgrund der Einsatzbedingungen des Busses im normalen Straßenraum nicht auszuschließen sind.

Zusammengefaßt erfüllt die Stromversorgungseinrichtung für den Duo-Bus im Tunnelbetrieb die hohen sicherheitstechnischen Anforderungen, wie sie für elektrisch betriebene Busse und Bahnen gelten. Dies wurde durch praktische Kurzschlußversuche nachgewiesen. Im realisierten System sind Straßenbahn und Bus vollständig unabhängig voneinander, so daß sich eventuelle Störungen in dem einen System sich nicht direkt auf das andere System auswirken.

Vorteilhaft hat sich hier wiederum die gewählte Vorgehensweise ausgewirkt, nur bereits an der Oberfläche erprobte Komponenten einzusetzen. Dadurch konnte der Straßenbahnbetrieb während der Einführungsphase des Spurbusses weitgehend störungsfrei fortgeführt werden.

current malfunction monitoring system in that section (e.g. if a part of the transmission line comes into contact with the railway track), with the result that the section in question is automatically switched off. However, it is conceivable that both ends of the transmission line fall onto the bus. In this case it can no longer be guaranteed that with a vehicle with rubber tyres on a dry road surface the current malfunction monitoring system will react, as the bus is insulated against zero potential.

If under such conditions a vehicle is touched from outside, or if a passenger tries to leave the vehicle, the full transmission line voltage is conducted to this person. The result may well be a fatal accident. For this reason for joint operation in tunnels the requirement was made that such a situation must be rendered impossible at least when the bus is at a standstill (while travelling a broken transmission line would be conducted by the bus on its own).

In order to solve this problem, an earthing of the bus via the tram rail seemed the obvious answer. If then the tram power transmission system comes into contact with the bus, there will be a short-circuit in the tram catenary system and this will lead to the tram route section being switched off.

The ground connection would be technically implemented by means of a metal device which would automatically be lowered onto the rail at speeds lower than 3 km/h. The driver is informed of correct lowering. For the safety of the passengers the doors can only be opened under normal circumstances when the earthing device is lowered. However, the double earthing device can also be lowered into its upper final position manually by means of a pulley to ensure that the vehicle can be driven out of the tunnel should the pneumatics fail. Practical experience has shown, however, that it is necessary for also the doors to be able to be opened manually if the earthing device is not correctly positioned as occasional malfunctions of this system cannot be ruled out due to the operating conditions of the bus in the normal road area.

To sum up, it can be said that the power supply equipment for the duo-bus in tunnels fulfils the high safety requirements for the technology involved as they apply for electrically powered buses and trains. This was demonstrated in practical short-circuit tests. In the system implemented the tram and bus are completely independent of each other, so that any disruptions which may occur in one system will not directly affect the other.

In planning, building and starting operation of the tunnel components the chosen procedure – of only using components which have been tested on the surface – had beneficial effects. For example, it was possible to continue tram operation largely without disruption during the introductory phase of the guided bus.

4. Das Streckensicherungssystem

Wie bereits in der Einleitung dargelegt, muß für den Tunnelbetrieb ein Streckensicherungssystem installiert werden, welches eine Fahrt nach ortsfesten Signalen ermöglicht. Das System muß dabei folgende Anforderungen erfüllen:

- ☐ Verträglichkeit und Integrationsmöglichkeit in das Sicherungssystem der Straßenbahn
- ☐ Einbaumöglichkeit ohne Stilllegung des Straßenbahnbetriebes sowie
- ☐ nur passive Systemkomponenten am Fahrzeug.

Diesen Anforderungen entsprach im Wesentlichen nur das System „SICARID“ der Firma Siemens. Dieses Sicherungssystem wurde auf der Teststrecke Fulerumer Straße getestet und prinzipiell als für den Tunnelbetrieb geeignet angesehen.

Im Jahre 1984 wurde das SICARID-System jedoch für Neuanwendungen aus dem Markt genommen und stand daher für die Tunnelausrüstung nicht mehr zur Verfügung. Da die Ausrüstung des Tunnelabschnittes zwischen den Haltestellen VHS und Viehofer Platz für das Jahr 1987 terminiert war und die Technische Aufsichtsbehörde vor dem Baubeginn einen geprüften Sicherheitsnachweis für das einzusetzende Sicherungssystem forderte, mußte innerhalb kürzester Frist eine Alternativlösung erarbeitet werden.

Unter diesen Randbedingungen wurde seitens der EVAG entschieden, das Streckensicherungssystem für den Tunnelmischbetrieb selber in enger Kooperation mit der, im Rahmen der Zulassungsprüfung als Sachverständiger bestellten, Ingenieurgesellschaft für Verkehrsplanung und Verkehrssicherheit GmbH in Braunschweig zu entwickeln.

Aufgrund der Erfahrungen auf der Versuchsstrecke sollte das neue Sicherungssystem auf bewährte Komponenten zurückgreifen und auf eine Rechnerverarbeitung verzichtet werden. Letzteres insbesondere wegen der langen Softwareentwicklungszeiten und damit einhergehenden Prüfverfahren, die eine fristgerechte Fertigstellung unkalkulierbar gemacht hätten.

4.1 Sicherungssystem der EVAG für den Spurbus

Das selbstentwickelte Sicherungssystem umfaßt die abschnittsweise Freimeldeeinrichtung für den Spurbus und die Zusatzeinrichtung, die es erlaubt, die bereits vorhandenen punktförmigen Geschwindigkeitsprüfeinrichtungen zu adaptieren und mitzubeneutzen. Für beide Aufgaben wird streckenseitig das gleiche Erfassungsmittel – ein berührungslos arbeitender Detektor – benutzt.

Dieser Detektor, eingebaut in einem Ausschnitt der Spurführungsschiene, arbeitet nach dem Prinzip des induktiven Näherungsschalters und besteht aus zwei Teilsystemen. Diese sind in jedem Detektor übereinander eingebaut und reagieren nach physikalisch unterschiedlichen Prinzipien. Während

4. The route protection system

As already mentioned in the introduction, a route protection system must be installed for tunnel operation, which makes a trip based on fixed signals possible. Here the system must fulfil the following requirements:

- ☐ compatibility and possibility of integration into the tram security system.
- ☐ possibility of installation without shutting down tram operation.
- ☐ only passive components on the vehicle.

These requirements were basically only fulfilled by the SICARID system by Siemens. This security system was tested on the Fulerumer Straße test section and was considered in principle to be suitable for tunnel operation.

In 1984, however, the SICARID system was taken off the market for new applications and was thus no longer available for equipping tunnels. As equipment of the tunnel section between the VHS and Viehofer Platz stops was planned for 1987 and the Technische Aufsichtsbehörde (Technical Supervisory Board) required certified evidence of safety for the security system to be used before construction work could commence, an alternative solution had to be drawn up within a very short period.

Against this background it was decided by EVAG that EVAG would develop the security system for joint tunnel operation in close co-operation with the Ingenieurgesellschaft für Verkehrsplanung und Verkehrssicherheit GmbH in Braunschweig, which had been called in as experts within the framework of the approval test.

On the basis of experience on the test route, the new security system was to make use of proven components and manage without computer processing. The latter especially because of the long time required for software development and related testing procedures which would have made it impossible to calculate punctual completion.

4.1 The EVAG protection system for the guided bus

The security system developed by EVAG comprises a facility for reporting free sections for the guided bus and the additional facility making it possible to adapt and also use the punctiform speed-testing facilities already in existence. The same means of detection – a contact-free detector – is used on the route for both tasks.

This detector, built into one section of the guide rail, works on the principle of an inductive proximity switch and consists of two part systems. These are built on top of each other in each detector and react according to two physically different principles. While the lower system recognises the steel rim of the guide wheel without making contact, the

das untere System berührungslos die Stahlfelge der Spurführungsrolle erkennt, registriert das obere System ein Dauermagnetfeld unabhängig von seiner Polrichtung. Am Heck des Spurbusses ist hierfür in entsprechender Anordnung ein Dauermagnet montiert worden.

Jedes Detektorteilsystem ist über zwei Adern mit einem Schaltverstärker in der zentralen Stellwerksanlage verbunden. Der Optokopplerausgang des Schaltverstärkers schaltet direkt die Signalrelais in der Stellwerkanlage.

Jeweils an den Abschnittsgrenzen, also dort, wo die herkömmlichen Gleisstromkreise aneinanderstoßen, wird jeweils ein Detektor montiert. Somit ergibt sich für den Mischbetrieb eine identische Teilung der Ortungsabschnitte für Spurbus und Straßenbahn.

Bei Vorbeifahrt einer Spurführungsrolle reagiert das untere System des Detektors durch einen negativen Impuls in dem Ruhestromkreis und gibt über seinen Schaltverstärker diese Information an die Relaislogik weiter. Der nun befahrene Abschnitt erhält den Zustand „belegt“. Passiert nun das Heck des Spurbusses mit seinem Dauermagneten den Detektor, so arbeitet das obere Detektorsystem, und sein positiver Impuls bewirkt über seinen Schaltverstärker in der Relaislogik die Schaltung des Zustands „frei“ für den verlassenen Abschnitt.

Befinden sich weitere Rollen – sogenannte Drängelrollen – am Bus, so ist ihre Wirkung auf die Logik ohne Bedeutung. Im Rahmen der sicherungstechnischen Anforderungen, die an eine solche Relaislogik zu stellen sind, werden die Abläufe der Schaltfolgen auf ihre Korrektheit überprüft. Unregelmäßigkeiten führen dazu, daß der Belegt-Zustand eines Ortungsabschnittes auch nach Räumung durch den Bus bestehenbleibt.

Neben der Gleisbesetzmeldung mußte auch ein System zur Geschwindigkeitsüberwachung und Zwangsbremmung entwickelt werden. Hierfür sollte ebenfalls möglichst konventionelle Technik verwendet werden, die vom Straßenbahnbetrieb her verfügbar ist.

Zur Überprüfung der Geschwindigkeit werden induktiv wirkende Schienenschalter für die Straßenbahn verwendet, entsprechend kommen für den Spurbus die bereits beschriebenen Streckendetektoren zum Einsatz. Sie werden auf gleicher Höhe wie die Schienenschalter montiert, wodurch sich für Straßenbahn und Spurbus identische Meßstrecken ergeben. Die Auswertung der Signale kann über eine gemeinsame Geschwindigkeitsprüfgruppe erfolgen, da nur jeweils eins der beiden Verkehrsmittel die Meßstrecke befahren kann.

Die Übertragung des Zwangsbremsbefehls bei Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bzw. beim Überfahren eines Haltesignals erfolgt wie bei der Straßenbahn magnetisch über das gleiche magnetische Zugbeeinflussungssystem. Da jedoch die Spurbuslängsachse seitlich versetzt zur

upper system registers a permanent magnetic field independent of its pole direction. At the rear of the guided bus a permanent magnet is installed in the corresponding position.

Each part detector system is connected to a current intensifier in the central signal control unit via two leads. The optocoupler output of the current intensifier directly switches the signal relay in the signal control unit.

One detector is installed at each section boundary, i.e. where the conventional track circuits meet. This results in an identical division of the detection sections for guided bus and tram.

When a guide wheel passes, the lower system of the detector reacts due to a negative impulse in the closed circuit and passes this information on to the relay logic via its current intensifier. The section now being driven over is given the "occupied" status. When the rear of the guided bus passes the detector with its permanent magnet, the upper detector system reacts and its positive impulse causes the "free" status for the section just left via its current intensifier in the relay logic.

If there are further rollers – so-called "distance rollers" – on the bus, their effect on the logic is of no consequence. Within the framework of the requirements relating to technical safety to be fulfilled by such a relay logic, the processes are checked for their correctness. Irregularities result in the occupied status of the location section remaining, even after the bus has left the section.

Apart from reporting occupied tracks, a system for monitoring speed and initiating emergency braking also had to be developed. Here too the intention was, as far as possible, to use conventional technology available from tram operation.

In order to monitor speed, inductive track switches as employed for trams are used and accordingly the route detectors already described are used for the guided bus. They are installed at the same height as the track switch, resulting in identical measuring sections for both tram and guided bus. Evaluation of signals can be performed by a joint speed testing group as only one of the two means of transport can drive over the same measuring section at one time.

Transmission of the emergency brake command when the admissible maximum speed is exceeded or when a stop signal is ignored is performed magnetically as for the tram via the same magnetic train influencing system. However, as the longitudinal axis of the guided bus is located to the side of the vehicle compared with the longitudinal axis of the tram (cf. description of guideway), a second track magnet was necessary to influence the guided bus.

Additional components in the braking system of the bus are required in order to implement the emergency braking signal. In designing the vehicle equipment the fact that electrical traction is re-

Straßenbahnlängsachse ist (vgl. Beschreibung Fahrweg), wurde ein zweiter Gleismagnet zur Beeinflussung des Spurbusses erforderlich.

Fahrzeugseitig sind zusätzliche Komponenten im Bremssystem erforderlich, um den Zwangsbremsebefehl umsetzen zu können. Bei der Auslegung der fahrzeugseitigen Ausrüstung ist dabei berücksichtigt worden, daß im Tunnelbetrieb die Elektrotraktion vorgeschrieben ist, sowie daß eine maximale Zwangsbremsverzögerung von 1 m/s^2 zulässig ist (im Straßenverkehr sind mindestens $4,5 \text{ m/s}^2$ vorgeschrieben). Die Verminderung der Bremsverzögerung ist besonders für stehende Fahrgäste wichtig, da durch eine überraschende Zwangsbremse mit voller Bremsverzögerung ein nicht unerhebliches Verletzungsrisiko durch Stürze entstehen würde.

Die Zwangsbremseinrichtung besteht im wesentlichen aus einem Fahrzeugmagneten unter dem Fahrzeugboden zum Empfang des Bremsbefehls, einem Steuer- und Schaltgerät zur Meldungsübertragung sowie elektropneumatischen Belüftungs- und Druckminderventilen zur Auslösung der generatorischen und der Betriebsbremse. Über das Druckminderventil wird die Bremsverzögerung des Fahrzeuges eingestellt. Die Funktionsfähigkeit der Kennungsmeldung wird täglich durch Überfahren einer Prüfeinrichtung überwacht.

Die beschriebene Anlage wurde am 04.08.1988 von der Technischen Aufsichtsbehörde abgenommen.

Durch die Anlehnung an die Sicherungstechnik der Straßenbahn sowie die identische Blockaufteilung und Anordnung der Sicherungskomponenten konnte die Installation, entsprechend den Anforderungen des Pflichtenheftes, ohne Beeinträchtigung des Straßenbahnbetriebes durchgeführt werden.

quired for tunnel operation has been taken into account, as has the fact that the maximum admissible emergency braking deceleration time amounts to 1 m/s^2 (at least 4.5 m/s^2 are prescribed for road traffic). Reduction of braking deceleration time is of particular importance for standing passengers as sudden emergency braking with full braking deceleration would mean a not inconsiderable risk of injury as a result of falls.

In principle, the emergency braking facility consists of a vehicle magnet under the vehicle floor to receive the braking signal, a control and switching device for transmitting the message and electro-pneumatic ventilation and pressure-reducing valves to trigger the generator and service brake of the vehicle. The braking deceleration of the vehicle is set by the pressure reducing valve. Correct functioning of the identification message is monitored daily by driving over the testing device.

The system described was approved by the Technical Supervisory Authority on 04.08.1988.

Due to the fact that the system was based on the safety technology as used by the tram and the fact that block division and location of the safety components are identical, it was possible to carry out installation as per specifications without disrupting tram operation.

5. Betriebskonzept für den Tunnelbetrieb

Grundsätzlich gilt für den Tunnelbetrieb das gleiche Betriebskonzept wie auf den übrigen spurgeführten Bereichen. Darüber hinaus ergeben sich für den Tunnelbetrieb jedoch einige Besonderheiten, welche nachfolgend dargelegt werden.

5.1 Räumungsfahrt

Im Falle des Liegenbleibens eines Spurbusses im Tunnel muß dieser kurzfristig aus dem Tunnel entfernt werden, da zwar nachfolgende Spurbusse oberirdisch umgeleitet werden können, nicht jedoch Straßenbahnen.

Die für den Tunnelleinsatz vorgesehenen Duo-Busse sind heckseitig serienmäßig mit einem Koppelmaul ausgerüstet, so daß ein noch rollfähiger Spurbus vom nachfolgenden Fahrzeug (dies kann sowohl eine Straßenbahn als auch ein Spurbus sein) mittel Kuppelstange aus dem Tunnel herausgeschoben werden kann. Diese Vorgehensweise ist nicht erforderlich, wenn der Duo-Bus den Tunnel noch im Dieselbetrieb verlassen kann, da die TAB den Einsatz des Dieselantriebs für Räumungsfahrten gestattet hat.

Sollte ein Fahrzeug überhaupt nicht mehr fahrfähig sein, so ist die Art der Räumung der Strecke im Einzelfall zu entscheiden.

5.2 Störungen im Sicherungssystem

Bei Störungen im Sicherungssystem gelten für Spurbusse und Straßenbahnen die gleichen Vorschriften der BOStrab, d.h. es darf nur nach Aufforderung der Betriebsleitstelle mit geringer Geschwindigkeit gefahren werden.

Nach Verlassen der Tunnelstrecke kann der Spurbus seine Fahrt normal fortsetzen. Auch wenn es sich bei dem Problem um einen fahrzeugseitigen Fehler handelt, kann das Fahrzeug die Fahrt zunächst beenden, bevor es ausgesetzt wird. Hierdurch brauchen die Fahrgäste des schadhafte Fahrzeuges nicht in ein Ersatzfahrzeug umzusteigen, sondern können ihre Fahrt normal beenden.

5. Operational concept for tunnel operation

In principle, the same operational concept applies for tunnel operation as for the other guided areas. In addition, there are some special features of tunnel operation which will be described in the following.

5.1 The clearing trip

Should a guided bus break down in a tunnel, it must be removed from the tunnel as quickly as possible as, although it is possible to redirect subsequent guided buses above ground, this cannot be done for trams.

The duo-buses intended for use in tunnels are equipped with a coupling device mounted at the rear as a standard fitting, so that a bus which is still able to roll can be pushed out of the tunnel by the following vehicle (this may be a tram or guided bus) by means of a coupling rod. This procedure is not necessary if the duo-bus is able to leave the tunnel under diesel power as the Technical Supervisory Authority has allowed diesel operation for clearing trips.

If the vehicle is no longer able to move at all, the method of clearing the section must be decided from case to case.

5.2 Malfunctions in the protection system

In the event of malfunctions in the protection system the same BOStrab regulations apply for both guided buses and trams, i.e. only low speeds may be driven after the order has been given by the operation control centre.

After leaving the tunnel, the guided bus can continue its journey normally. Even if the problem was due to a fault located in the vehicle, it may first complete the trip before it is taken out of service. This means that passengers do not need to transfer from the faulty vehicle to a replacement vehicle, but can complete their trip normally.

6. Betriebserfahrungen im Tunnelbetrieb

Seit dem 24. September 1988 verkehren die Spurbuslinien 145 und 147 im Fahrgastbetrieb durch den Straßenbahntunnel zwischen VHS und Viehofer Platz mit Halt an der Tunnelhaltestelle Porscheplatz.

Bisher sind weder bei den Spurbuskomponenten noch beim Sicherungssystem kritische Probleme aufgetreten. Auch der Mischbetrieb mit der Straßenbahn verursacht keine Probleme.

Gelegentlich hinterläßt der Spurbus im Sicherungssystem einen belegten Block. Die Hauptstörungsquelle hierfür liegt beim Freimeldemagneten am Fahrzeugheck, welcher im normalen Straßenverkehr und im Betriebshof einer Beschädigungsgefahr durch verbiegen (z.B. beim durchfahren von Bodenwellen mit ungenügendem Druckluftstand) ausgesetzt ist. Die Folge ist, daß der Streckendetektor den Magneten nicht mehr orten kann. Nach Auftreten des Fehlers muß der Streckenabschnitt durch eine „Räumungsfahrt“ des nachfolgenden Fahrzeuges wieder frei geschaltet werden.

Auch seitens der elektrischen Sicherheit sind bisher keine kritischen Probleme aufgetreten. Inwieweit der aus Gründen der elektrischen Sicherheit geforderte doppelte Erdungsbügel als notwendig anzusehen ist, muß der längerfristige Einsatz der Fahrzeuge zeigen.

Zusammengefaßt läßt sich sagen, daß der Tunnelbetrieb keine spezifischen Probleme aufgeworfen hat, die ursächlich mit eben diesem Tunnelbetrieb zusammenhängen. Auch seitens der Fahrgäste wurde der Tunnelbetrieb als positiv bewertet. Den vielfach geäußerten Wunsch, einige Kurse aus Kray auch direkt zum Hauptbahnhof zu führen, konnte durch die flexible Spurbustechnologie – anders als bei der Straßenbahn – entsprochen werden. Für eine abschließende Komfortbewertung des Tunnelbetriebes ist es angesichts des bisher sehr kurzen Tunnelabschnitts und ohne Einbezug der Mittelbahnsteige sicher noch zu früh.

Die bisherigen Betriebserfahrungen haben gezeigt, daß bei zukünftigen Entwicklungen von Komponenten für den Tunnelbetrieb deren Praxistauglichkeit im spurfreien Straßenbetrieb stärker berücksichtigt werden muß, da die Mehrzahl der aufgetretenen Probleme im Tunnelbetrieb ihre Ursachen im normalen Straßenverkehr hat. Dabei werden für den Tunnelbetrieb notwendige Komponenten durch äußere Einwirkung so beschädigt, daß eine einwandfreie Funktionsfähigkeit nicht mehr gewährleistet ist. Anzustreben ist dabei eine Integration der Komponenten in die Fahrzeugstruktur, um die Anzahl der besonders gefährdeten Anbauteile zu verringern.

6. Operational experience in tunnel operation

Since September 24 1988, the guided bus lines 145 and 147 have been running in passenger service through the tram tunnel between VHS and Viehofer Platz with a stop at the Porscheplatz tunnel stop.

To date no critical problems have occurred either with the guided bus components or with the security system. Nor has joint operation with the tram caused any problems.

Occasionally the guided bus leaves an occupied block in the protection system. The main source of this malfunction is the magnet for reporting free sections, located at the rear of the vehicle, which is exposed to the risk of damage from denting in normal road traffic and in the depot (e.g. when driving over humps in the road with insufficient tyre pressure). The consequence is that the route detector can no longer locate the magnet. When such an error occurs, the route section affected must be switched to "free" by a "clearing trip" made by the following vehicle.

Nor have any critical problems occurred with regard to electrical safety. To what extent the double earthing device, required for reasons of electrical safety, is in fact to be considered necessary, can only be shown by use over a longer period.

In summary, one can say that tunnel operation has not caused any specific problems related directly to the actual tunnel operation. From the passengers' point of view too, tunnel operation has been positively received. The often expressed wish to have some trips run from Kray direct to the main station could – thanks to the more flexible guided bus technology as compared to the tram system – be fulfilled. It is as yet too early to make a final evaluation of the comfort of tunnel operation in view of the very short tunnel section to date and the fact that central platforms cannot be included.

Operational experience to date has shown that for the future development of components for tunnel operation their practical suitability for non-guided road operation must be given greater consideration, as the majority of problems which have arisen in tunnel operation originated from causes to be found in normal road traffic. Here, the components needed for tunnel operation are so badly damaged by outside effects that fault-free functioning can no longer be guaranteed. A desirable aim would be to integrate these components into the vehicle structure in order to reduce the number of outside components at risk.

7. Ausblick, Übertragbarkeit

7.1 Weiteres Vorhaben in Essen

Nach den positiven Erfahrungen mit dem Tunnelmischbetrieb befindet sich derzeit ein weiterer ca. 1,6 km langer Tunnelabschnitt in der Ausrüstung für den Spurbusbetrieb. Dabei werden auch die Haltestellen Rheinischer Platz und Berliner Platz mit ihren Mittelbahnsteigen angefahren. Hierfür werden die Busse mit linksseitigen Türen ausgerüstet. In den Fahrleitungsbau fließen die Erkenntnisse aus dem ersten Tunnelabschnitt ein. Mit diesem zweiten Tunnelabschnitt wird der Ausbau des Tunnelmischbetriebes in Essen seinen vorläufigen Abschluß finden.

Die Bedeutung des erweiterten Spurbusbetriebes im Tunnel für den ÖPNV in Essen wird durch die Förderung dieses Ausbaus mit Mitteln nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) deutlich.

7.2 Übertragbarkeit

Das Demonstrationsvorhaben Spurbus Essen hat den Nachweis erbracht, daß eine gemeinsame Tunnelnutzung durch Straßenbahn und Spurbus ohne Beeinträchtigung des Straßenbahnbetriebes möglich ist. Dabei lassen sich die Spurbusse mit moderaten Aufwand in das Sicherungssystem der Straßenbahn integrieren. Somit können Spurbusse auch in anderen Städten Straßenbahntunnel mitbenutzen, soweit sich geeignete Ein- und Ausfädelungsrampen schaffen lassen und bei meterspurigen Straßenbahnen das Lichtraumprofil für den breiteren Spurbus ausreichend ist. Dabei ist auch der Einsatz von Niederflrbusen problemlos möglich.

Während für den konventionellen Spurbusbetrieb vorhandene Dieselbusse umgerüstet werden können, ist für den Tunnelbetrieb eine Fahrzeugneubeschaffung in der Regel aus zwei Gründen unausweichlich.

1. Die Straßenbahntunnel sind für den elektrischen Fahrbetrieb ausgerüstet und besitzen daher nicht die für einen Dieselmotor notwendigen Lüftungseinrichtungen. Aus diesem Grunde müssen auch die Spurbusse elektrische Traktion in den Tunnelstrecken ermöglichen; zumindest solange, wie keine anderen schadstofffreien Antriebe zur Verfügung stehen.
2. Straßenbahnhaltestellen sind oftmals mit Mittelbahnsteigen ausgerüstet, wodurch die Spurbusse mit linksseitigen Fahrgasttüren ausgestattet sein müssen. Eine Nachrüstung konventioneller Fahrzeuge mit linksseitigen Türen ist aufgrund der dafür nicht ausgelegten Fahrzeugstruktur sehr aufwendig.

7. Future prospects, transferability

7.1 Further procedure in Essen

After the positive experience with mixed tunnel operation, a further tunnel section of 1.6 km length is at present being equipped for guided bus operation. This section includes the stops at Rheinischer Platz and Berliner Platz with their central platforms. The buses are being equipped with doors on the left-hand side for this purpose. Experience gained with the first tunnel section is being made use of in the construction of the catenary system. This second tunnel section brings the development of joint tunnel operation in Essen to a provisional end.

The importance of the extended guided bus tunnel operation for public transport in Essen is evidenced by the fact that this extension is sponsored with funds granted on the basis of the Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz. (GVFG – Local Transport Financing Law).

7.2 Transferability

The Guided Bus Essen Demonstration Project has shown that joint use of tunnels by trams and guided buses is possible without any disruption of tram operations. And guided buses can be integrated into the trams' protection system with only moderate effort and expense. This means that guided buses can also use tram tunnels in other cities, inasmuch as suitable entry and exit ramps can be constructed and if, in the case of metre gauge trams, the clearance profile is sufficient for the wider guided bus. Furthermore, the use of the low-floor bus is quite unproblematic.

Whereas existing diesel buses can be converted for conventional guided bus operation, for tunnel operation the purchase of new vehicles is as a rule unavoidable for two reasons:

1. Tram tunnels are equipped for electrical operation and do not have the ventilation facilities necessary for diesel operation. For this reason guided buses also have to make electric traction possible in tunnel sections; at least as long as no other pollution-free drives are available.
2. Tram stops are often furnished with central platforms, meaning that guided buses must have doors on the left hand side. Equipping conventional vehicles with left-hand doors is highly complicated as the vehicle structure is not designed for such conversion.

The joint use of light rail rapid transit tunnels (underground tunnels cannot be used due to the live rail) is also possible in principle, but presupposes further-reaching requirements for the guideway as, generally speaking, light rail rapid transit vehicles have a normal gauge (1,435 mm), meaning that

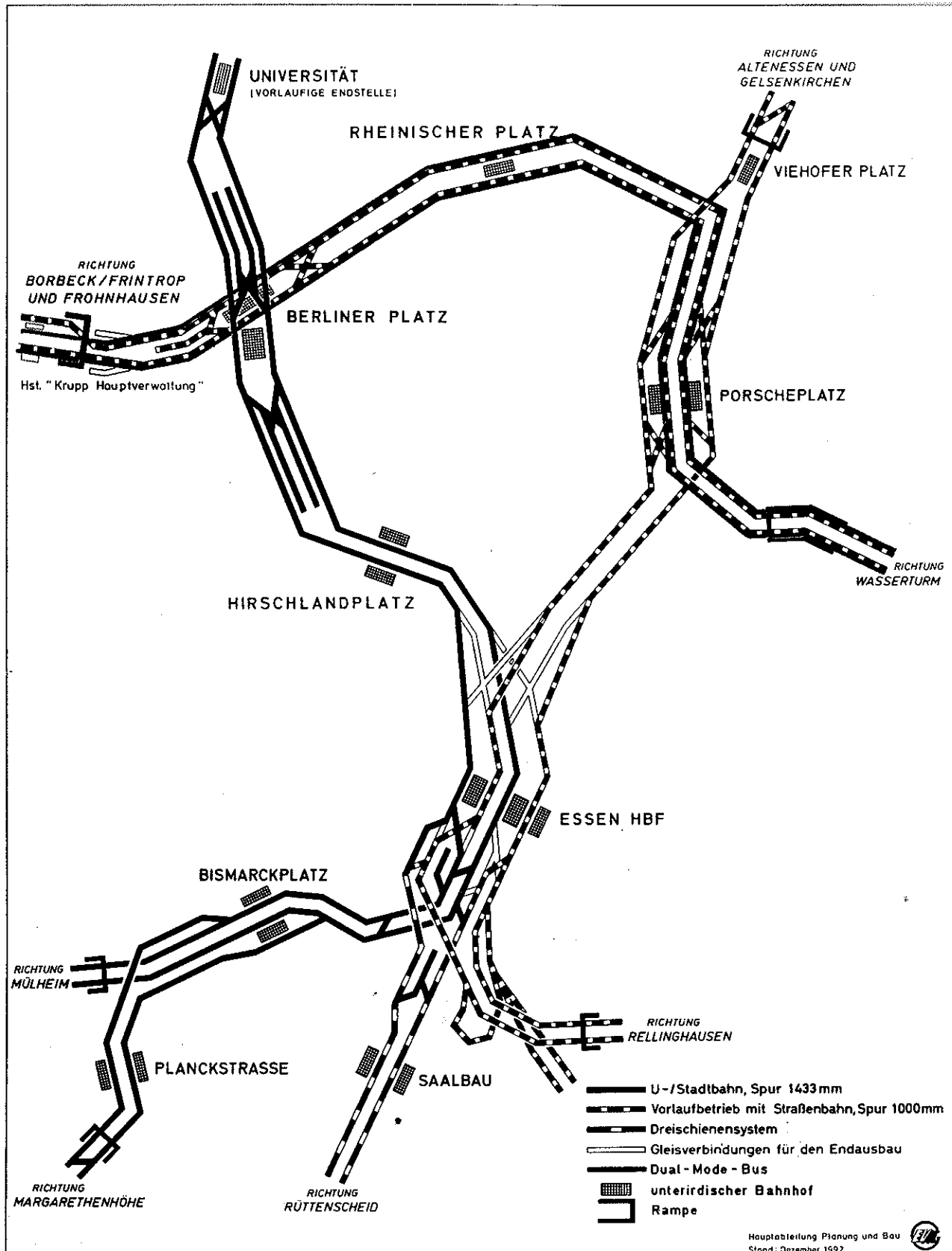
Die Mitbenutzung von Stadtbahntunneln (U-Bahntunnel verbieten sich aufgrund der dort vorhandenen Stromschiene) ist prinzipiell auch möglich, stellt jedoch weitergehende Anforderungen an den Spurbusfahrweg, da Stadtbahnen in der Regel Normalspur (1.435 mm) aufweisen und somit beidseitig die Schienen als Aufstandsfläche für den inneren Zwillingsreifen genutzt werden müssen. Allerdings hat sich bisher durch die Mitbenutzung der Schiene als Aufstandsfläche für den rechten inneren Zwillingsreifen keine Asymmetrie im Reifenverschleiß eingestellt. Zusätzlich verkehren Stadtbahnen im Tunnel oftmals an Hochbahnsteigen. Hierfür müssen im Spurbus bzw. an der Haltestelle geeignete Einrichtungen geschaffen werden (klappbare Trittstufen oder Haltestellenabsenkungen), wodurch sich zusätzliche Kosten ergeben.

Besonders bei Stadtbahnen mit längeren unabhängigen Fahrwegsabschnitten und dichter Fahrtenfolge ist auch noch der betriebliche Aspekt der Pünktlichkeit zu berücksichtigen. Während die Stadtbahnen eine hohe Fahrplanteue aufweisen, können sich beim Spurbus aufgrund der Streckenabschnitte im allgemeinen Straßenverkehr größere Verspätungen, besonders in der Hauptverkehrszeit, ergeben. Solche Verspätungen können dann beträchtliche Koordinierungsprobleme auf Strecken mit Mischbetrieb ergeben. Somit ist der Mischbetrieb Stadtbahn/Spurbus nur als bedingt sinnvoll anzusehen und nicht als Dauerlösung anzustreben.

both rails have to be used as support areas for the inner twin tyre. However, to date no asymmetrical wear has been determined on tyres as a result of using the rail as a support surface for the right-hand inside twin tyre. In addition to this, light rail rapid transit vehicles often use raised platforms in tunnels. Suitable facilities would thus have to be created for this either in the guided bus or at the stop (collapsible steps or lowered sections in the platforms), whereby additional costs would be incurred.

Especially with light rail rapid transit with longer independent route sections and shorter headways, the operational aspect of punctuality also has to be considered. Whereas light rail rapid transport runs largely in accordance with the timetable, in the case of the guided bus there may be considerable delays as a result of route sections in general road traffic, particularly in the rush hour. Such delays may result in considerable co-ordination problems on routes with combined operation. Joint operation of light rail rapid transit / guided bus must thus be regarded as only plausible to a limited extent and not as a long-term solution.

Anhang Appendix



Übersichtsplan: Streckenführung des Spurbusses im Tunnel

Overview: The tunnel section of the guided bus route



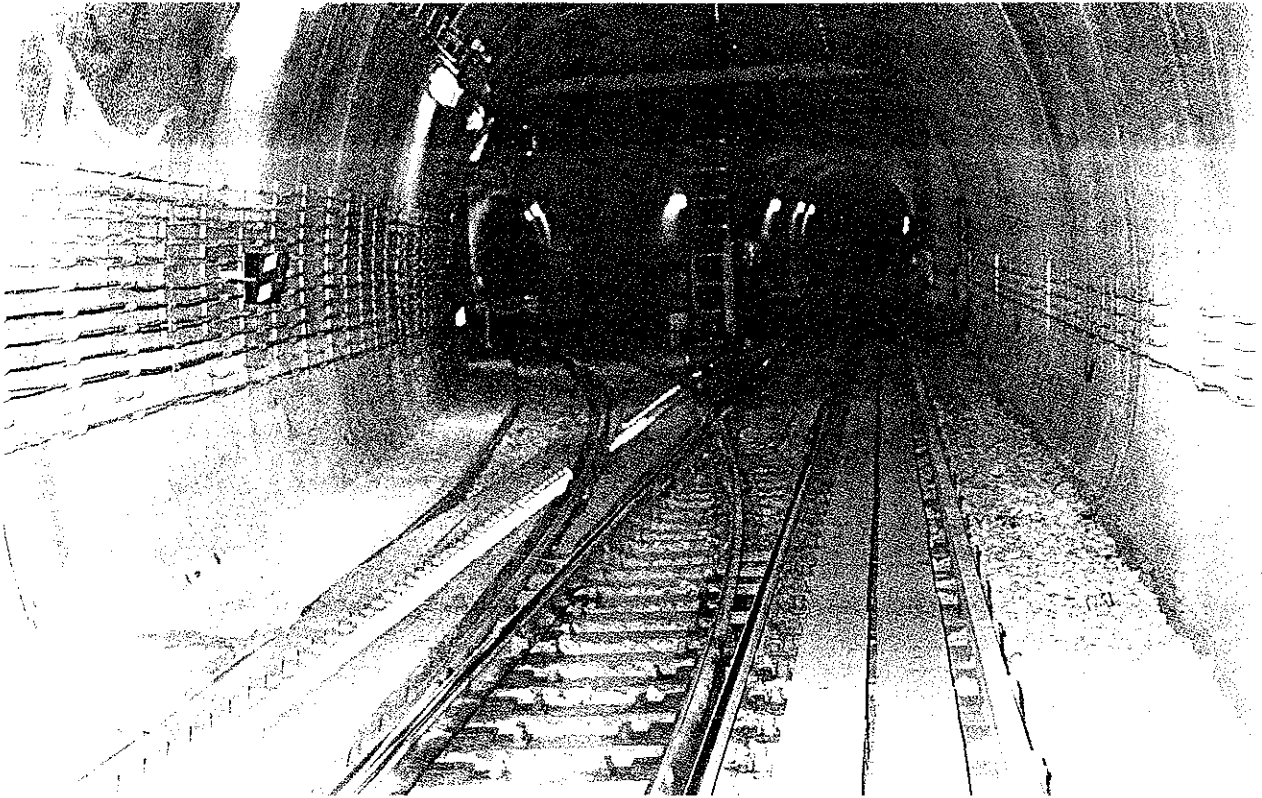
Einfahrt des Spurbusses über die Rampe Wasserturm

Guided bus at entry point to the tunnel over the Wasserturm ramp



Spurbus in der Haltestelle Berliner Platz

Guided bus at the Berliner Platz stop



Schienenweiche im Tunnel mit einseitiger Spurführung

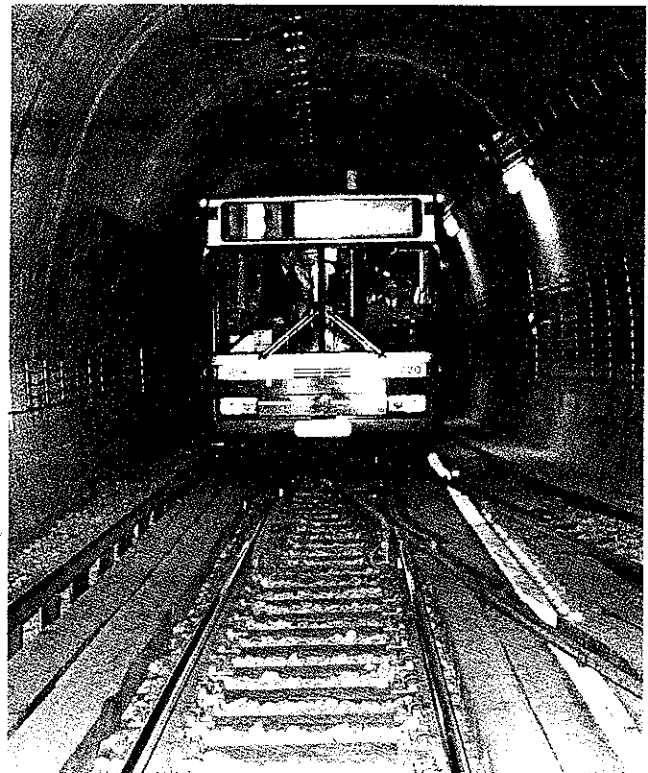
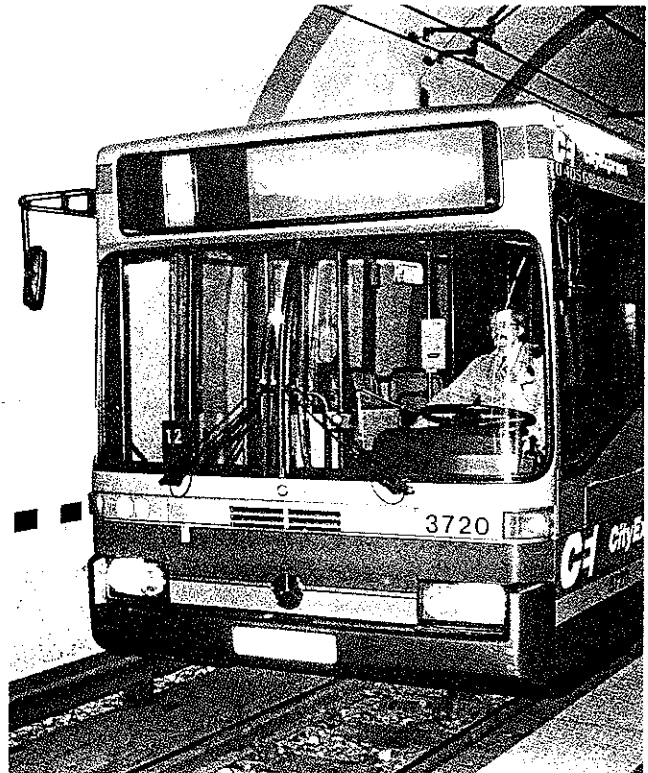
Track switch in the tunnel with single-side guideway



Spurbus beim Durchfahren der Abzweigung

A guided bus driving through the switch point

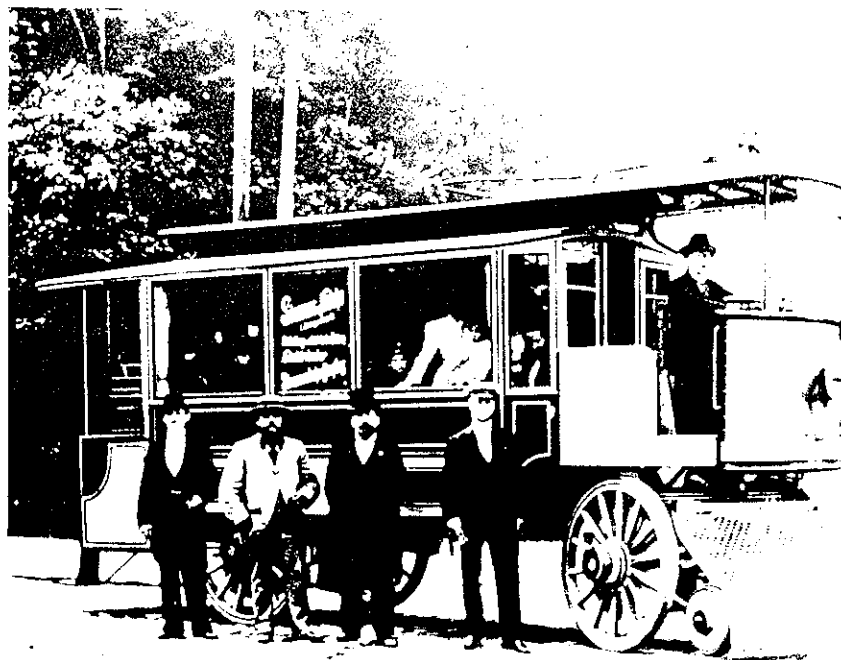
Spurbus Essen



Essener Verkehrs-AG

Eine Informationsschrift zum
Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
Spurbus Essen Phase III
Spurbusbetrieb im Tunnel

*Informations on the
Research and Development Project
Guided Bus Essen Phase III
Guided Bus Operation in Tunnels*

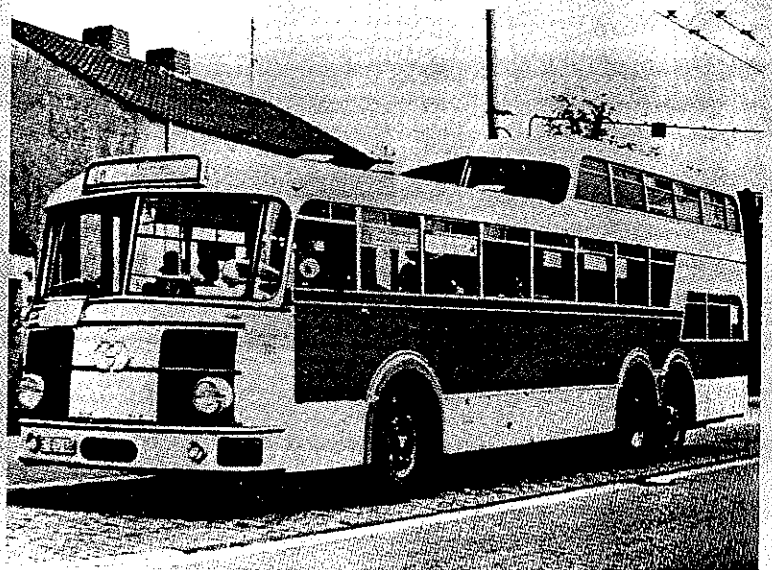
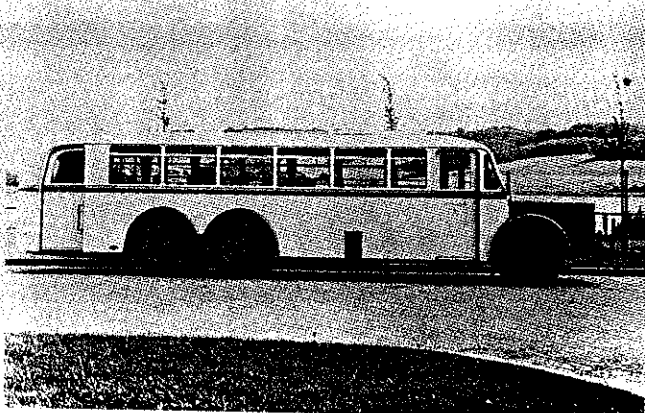
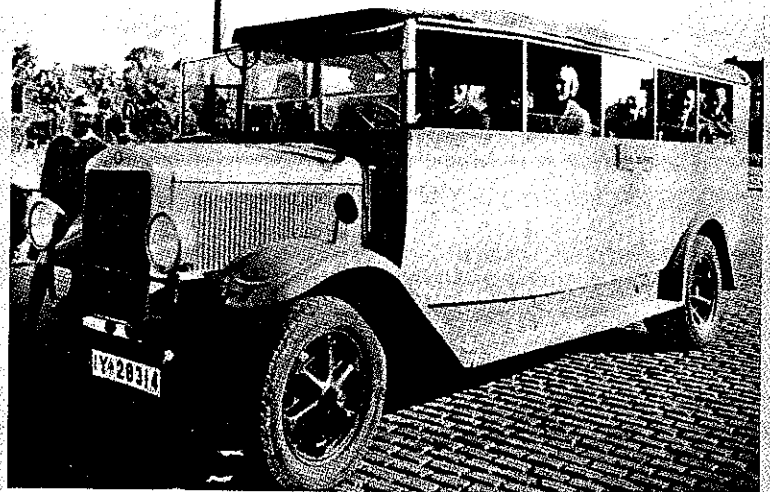
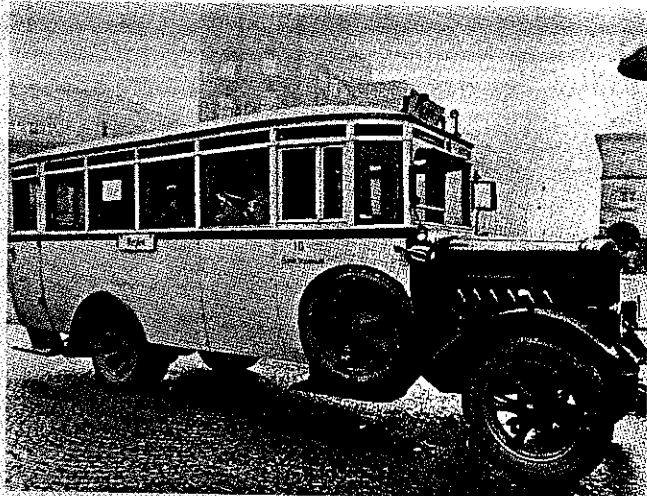
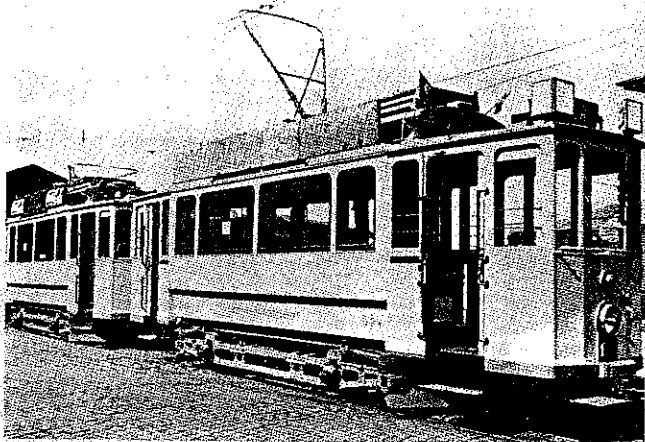
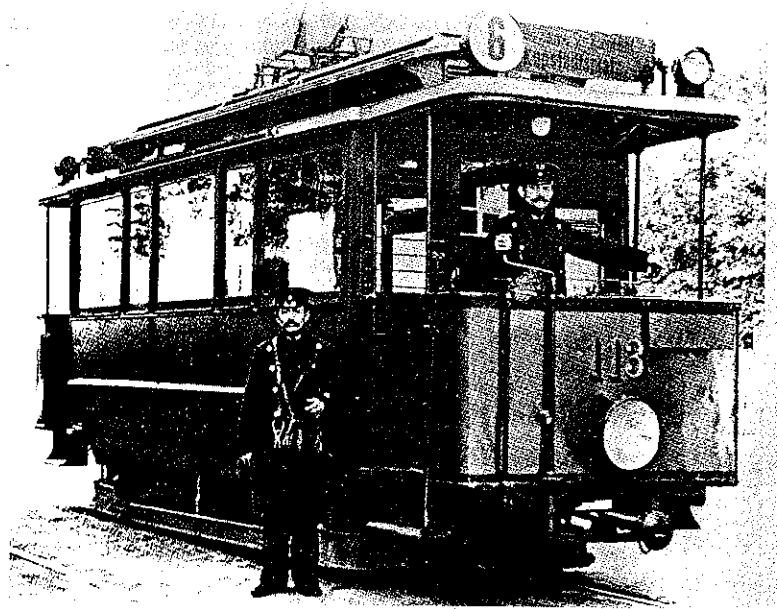
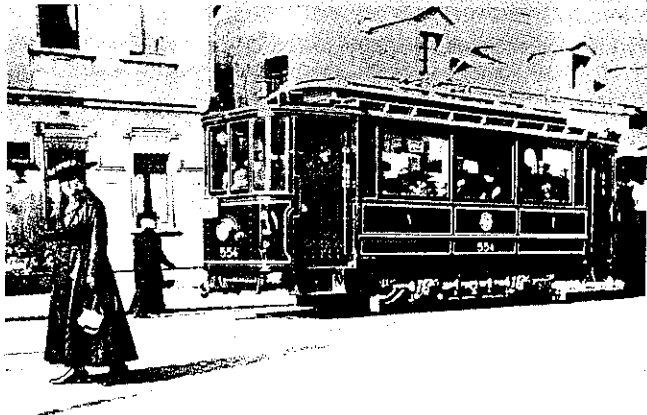


Siemens & Halske 1899	<i>Elektr. Omnibus für Gleisbetrieb mit Oberleitungsspeisung und für gleislosen Betrieb mit Batteriespeisung 4 Motoren je 5,5 kW, 325 V, 7000 U/min</i>	Gl 420187
--	---	----------------------

Spurbus 1899 und 1992



ESSENER STRASSENBAHN





Spurbus Vorderrad mit Tastarm und doppeltem Erdungsbügel unter dem Fahrzeug
Guided bus front wheel with guide arm and double earthing facility under the vehicle



Spurbus Hinterrad mit Drängelrolle und Freimeldemagnet
 (Im Vordergrund ein durch Berührungen mit Spurführungsrollen beschädigter Bordstein)
*Guided bus rear wheel with pusher roller and magnet for reporting free sections
 (In the foreground a kerb damaged by contact with guide wheels)*