

Abschlussbericht

„Zweiwegefahrzeug“

**Untersuchung und Bewertung von ausgewählten
Problemen und Aufgaben bei der Entwicklung und
Erprobung eines Zweiwegefahrzeuges für den
Personenverkehr**

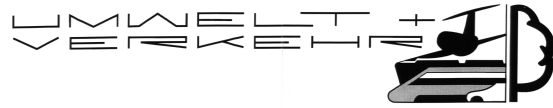
**FuE-Verbundvorhaben
- Teilprojekt Umwelt + Verkehr -**

**Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2000 bis 31.03.2001
Berichtszeitraum: 01.06.2000 bis 31.03.2001**

Förderkennzeichen: 19P0050B



**Umwelt + Verkehr GbR
Dornblühstraße 31
01277 Dresden**



Abschlussbericht

„Zweiwegefahrzeug“

**Untersuchung und Bewertung von ausgewählten
Problemen und Aufgaben bei der Entwicklung und
Erprobung eines Zweiwegefahrzeuges für den
Personenverkehr**

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben
wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für
Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
unter dem Förderkennzeichen 19P0050B gefördert.**

**Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung sowie für den Inhalt des
beigefügten Anlagenbandes liegt beim Autor.**

**Umwelt + Verkehr GbR
Dornblüthstraße 31
01277 Dresden**

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Zielstellung für das Vorhaben war die Untersuchung ausgewählter technischer Fragestellungen hinsichtlich der Machbarkeit der Entwicklung und Erprobung eines Prototypes für ein Zweiwegefahrzeug für den Personenverkehr, das für den Einsatz auf der Schiene und der Straße vorgesehen und dafür entsprechend technisch ausgestattet ist.

Damit erbringt das Vorhaben technisch-konstruktive Lösungsansätze für ein vollständig neues Fahrzeuggrundkonzept und trägt hinsichtlich eines solchen zukünftigen Fahrzeugtyps

- zur Klärung technischer Fragen (statische Zusammenbauuntersuchungen, geometrische und maßliche Bedingungen sowie Konzipierung, Leistungsanforderungen der Komponenten, Konzept für Ein- und Ausspuren sowie für Ein- und Ausstieg),
- zur Prüfung der technischen Zulassungsfähigkeit des Fahrzeuges,
- zur Klärung von Rechtsfragen für die Sicherung des Betriebes des Fahrzeuges
- sowie zum Nachweis des wirtschaftlicheren Betriebes des Fahrzeuges bei.

Das Vorhaben unterbreitet unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer, gesetzlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen Lösungsvorschläge für die konstruktive Konzipierung des Fahrgestells und ein technisches Konzept für das Ein- und Ausspuren für einen neuen Fahrzeugtyp, der sowohl für die Straßenbenutzung als auch für den Schienenverkehr zugelassen ist.

Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens sind

1. Definition der geometrischen Abmessungen und der Anordnung der auf dem Fahrgestell zu platzierenden Komponenten des Lift- und Federungssystems, des Antriebspaketes, der Radsatzanordnung und des daraus resultierenden Fahrzeugaufbaus hinsichtlich Kollisionsfreiheit und Einhaltung von Mindestabständen auf der Basis statischer Zusammenbauuntersuchungen.
2. Prüfung von Varianten und Erarbeitung eines technischen Konzepts für Ein- und Ausspuren sowie Ein- und Ausstieg unter Beachtung der verschiedenen örtlichen Bedingungen (alte und neue Bundesländer) und der damit im Zusammenhang stehenden Steuerungsprozesse beim Wechseln der Fahrwege.
3. Prüfung der Übereinstimmung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, vorliegenden technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften sowie Zulassungsbestimmungen.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat Mobilitätsforschung für das 21. Jahrhundert in Form von Leitprojekten besonders akzentuiert und Schwerpunkte der Forschungsförderung im Bereich Mobilität, Verkehr und Transport festgelegt.

Eine technisch-technologische Lösung, bei der der Übergang Straße / Schiene / Straße ohne Umsteigen der Fahrgäste bzw. ohne Umladen der Güter erfolgt, leistet einen wichtigen Beitrag zur Realisierung des Forschungsbedarfes in diesem Bereich. Gleichzeitig kann durch die Überführung der zu erwartenden technischen Lösungsvorschläge in den Prototypenbau und deren Nutzungsfreigabe wesentlich zu Fragen der Verkehrssicherheit beigetragen werden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Dem Vorhaben geht eine Untersuchung zur Prüfung der grundsätzlichen Einsatzmöglichkeit eines solchen Fahrzeugtyps und seiner Akzeptanz bei möglichen Betreibern im Freistaat Sachsen voraus, die durch das Ministerium für Wirtschaft und Arbeit des Freistaates gefördert wurde (Projektnummer 5565/850 des Freistaates Sachsen), auf die die vorliegende Arbeit aufbaut.

Die vertiefende Weiterführung der Untersuchungen der vorliegenden Machbarkeitsstudie mit dem Ziel, einen Beitrag zur Erhöhung der Effizienz im Personen- und Güterverkehr zu leisten, greift ein gesellschaftlich besonders relevantes Themenfeld auf, das von Bund und Ländern in vielfältiger Weise unterstützt wird.

Die oben aufgeführte Zielstellung wird durch eine weitere Studie ergänzt. Im Rahmen eines Kooperationsvorhabens arbeitete das Unternehmen EBF Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Bautechnik mbH zeitgleich an

- der Klärung von Rechtsfragen in Bezug auf die Sicherung des Betriebes des Fahrzeuges und
- der Wirtschaftlichkeitsermittlung am Beispiel ausgewählter Linien in ca. sieben Bundesländern unter Berücksichtigung der Kostenabschätzung der Fahrzeugherstellung.

Die Mobilität von Personen und Gütern ist eine wichtige Voraussetzung für die Gestaltung eines leistungsfähigen Berufs-, Wirtschafts- und Freizeitverkehrs. Die Mobilität wird entscheidend bestimmt durch das eingesetzte Transportmittel, die Verkehrsinfrastruktur und die Verkehrstelematik.

Unter den Bedingungen des zunehmenden Verkehrsaufkommens und der ständig wachsenden Sensibilisierung der Bevölkerung für Belange der Umwelt rückt das Verkehrswesen immer stärker in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses und damit auch in den Mittelpunkt der Auseinandersetzung. Neue Verkehrskonzepte sind zu entwickeln, die eine attraktivere Gestaltung des öffentlichen Personennahverkehrs, eine effizientere Bewältigung der gestiegenen Anforderungen an den Güter- und Personenverkehr sowie einen schonenden Umgang mit vorhandenen Ressourcen ermöglichen.

Internationale Trendstudien zeigen, dass eine Möglichkeit zur effizienteren Auslastung der vorhandenen Straßen- und Schienentrassen in der Entwicklung bimodaler Transportsysteme gesehen wird – Transportsysteme, die in Abhängigkeit von örtlichen und verkehrstechnischen Gegebenheiten sowohl nichtspurgeführt, also auf der Straße, als auch spurgeführt, d. h. auf Schienen fahren können.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt setzt der Einsatz solcher Technik jedoch noch die Untersuchung und Klärung verschiedener spezifisch technischer Probleme voraus, die durch die Nutzung der unterschiedlichen Fahrwege bedingt sind.

Fahrzeuge für den Personenverkehr mit der Eigenschaft, sowohl auf der Schiene und der Straße verkehren zu können und im Fahrgestell mit Straßenfahrwerk und Schienenfahrwerk (letzteres vertikal bewegbar) ausgestattet zu sein, existieren bis heute nicht in der Praxis.

Das Vorhaben wurde bundesweit durch die Vorstände von Verkehrsverbänden bzw. Nahverkehrsgesellschaften begrüßt, die den Bedarf an innovativen Lösungen für den Personenverkehr bestätigten und ihre Bereitschaft zur Unterstützung des Vorhabens signalisierten. Gleichzeitig bekundeten potentielle Produzenten eines solchen Fahrzeugtyps ihr Interesse am Fortgang der Untersuchungen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Projektdauer wurde mit einer Laufzeit von 10 Monaten definiert. Als Projektabschluss wurde der 31.03.2001 markiert. Die dabei kalkulierten Ausgaben in Höhe von ca. 160.000,00 DM wurden im Rahmen des Vorhabens bis zum 31.03.2001 anteilig gefördert.

Die Projektrealisierung ist Teil eines Kooperationsvorhabens mit dem Unternehmen EBF Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Bautechnik mbH, das zeitgleich themennahe Untersuchungen zu den bereits oben genannten Aufgabenstellungen durchführte. Durch ständigen Informationsaustausch zwischen den Projektpartnern wurde gewährleistet, dass für die Realisierung der unterschiedlichen Aufgabenstellungen für alle Beteiligten der Zugriff auf erforderlichen aktuellen Daten jederzeit möglich war.

Das Vorhaben wurde zunächst als Kooperationsprojekt ganzheitlich, inhaltlich und zeitlich mit 5 Arbeitsetappen geplant. Für die Umsetzung wurde das Vorhaben in zwei eigenständige, allerdings miteinander verbundene Projekte gesplittet. Die Anlagen 1 und 2 verdeutlichen den Projektaufbau.

Der vorliegende Abschlussbericht umfasst die Arbeitsetappen 1 bis 3 entsprechend der im Punkt 1 des vorliegenden Berichtes genannten Aufgaben und Ziele.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Verfahrens benutzt wurden, Angabe der verwendeten Fachliteratur und benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Entwicklung bimodaler Verkehrssysteme zur weitverbreiteten Anwendung hat gerade begonnen und wird von verschiedenen Fahrzeugherstellern, Verkehrsunternehmen, Ingenieurbüros und Forschungseinrichtungen vorangetrieben. Sonderausführungen für Fahrzeuge zum alternativen Betrieb auf Straße und Schiene sind grundsätzlich bekannt und schon seit Jahren im Einsatz. Allerdings sind diese Lösungen nur für spezifische Anwendungsbereiche, häufig insbesondere für Havarie- und Sonderfahrzeuge realisiert worden.

Aus der vergangenen und gegenwärtigen Anwendung sind u.a. folgende Konfigurationen von Zweiwegefahrzeugen im engeren Sinne bekannt:

- Spezialfahrzeuge ohne Antrieb der Schienenfahreinrichtung (die Schienenfahreinrichtung dient nur zur Spurführung), z. B. Oberleitungsmontagewagen
- Spezialfahrzeuge mit angetriebener Schienenfahreinrichtung. Diese Fahrzeuge sind nicht für den Personenverkehr geeignet, z. B. Rangierfahrzeuge.

Weitere neue Entwicklungen eines Straße-Schienen-Fahrzeuges, die dem Anspruch eines Zweiwegefahrzeuges mit dem Ziel, den Personenverkehr auf der Straße und der Schiene zu verschmelzen gerecht werden, sind nicht bekannt. Ein Fahrzeug mit den angestrebten Eigenschaften wird zur Zeit auf dem Markt nicht angeboten.

Der Kenntnisstand beruht auf einer umfassenden Literatur- und Patentrecherche (national und international), die im Vorfeld der Machbarkeitsstudie angefertigt wurde. Der Begriff "Zweiwegefahrzeug" wird in Schutzrechten und Schutzrechtsanmeldungen belegt als Straßenfahrzeug mit seitlichen Führungsrollen, mit zusätzlichen Spurkränzen als Führungsrolle, mit Stützradanordnung, mit Drehgestellanschluss, mit Laufadapter, mit kollabierbaren Rädern oder als Fahrzeug mit generellem Wechsel der Räder.

Die Darlegungen stützen sich besonders auf folgende Literaturangaben bzw. wurden mittels folgender Informationsdienste recherchiert:

Bauanforderung für Zweiwegefahrzeug,
Richtlinie der Deutschen Bahn Nr. 931.0003 vom 01.03.1999

Betriebsordnung für Kraftfahrzeuge

Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung

Foth J.; Gazyakan Ü., Dominke P.; Ruck G.; Moderne Lenksysteme für zukünftige Anforderungen

In: VDI-Bericht 1533 (2000), Seite 367ff.

Gemeinsames Signalbuch DS 301 und DV 301 der DB AG

Göddert, K. P; Manias, P.; Fahrerlos und funkgesteuert

Görgler, J.; Kritische Situationen
In: Busmagazin, 4 / 2000, S. 6 ff.

Hondius, H.; Eine Niederflurentwicklung der belgischen Bombardier-BN-Werke
In: Der Nahverkehr 4/90, S. 68ff.

Hondius, H.; Zwischenlösungen oder "hybride" oder "bimodale" Verkehrsmittel
In: Der Nahverkehr 1-2/1998, S. 40ff.

<http://www.depanet.de>
<http://www.webpac.slub-dresden.de>
<http://www.vdi.de>
<http://www.fiz-karlsruhe.de>

Kommentar zur Eisenbahnbau- und Betriebsordnung, 3. Auflage 1996

Leitdraht zur Spurführung
In: Werksschrift der Firma Götting KG Lehrte/Röddensen
<http://www.goetting.de>

Machbarkeitsstudie Zweiwegefahrzeug,
Projektnummer 5565/850 des Freistaates Sachsen

Müller, N.; Autonomes Manövrieren und Navigieren mit einem sehenden
Straßenfahrzeug
In: VDI Fortschritt-Berichte, Nr.281 / 1996, Reihe 12 / Fahrzeugtechnik

Neoplan – Die Lenkstrategien der Megaklasse
In: Neoplan aktuell, Werksschrift, März 1997

Offenlegungsschrift DE 197 17 829 A 1
Offenlegungsschrift DE 197 39 102 A 1
Offenlegungsschrift DE 197 48 127 A 1
Offenlegungsschrift DE 197 55 075 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 03 662 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 16 785 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 35 556 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 36 778 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 36 966 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 42 176 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 48 192 A 1
Offenlegungsschrift DE 198,10 772 A 1

Patentschrift DE 15 48 536 C 1
Patentschrift DE 197 21 504 C 1
Patentschrift DE 197 32 784 C1

Patentschrift DE 198 22 114 C1

Pütz, R.; Mechanische Spurabtastung der O-Bahn
In: VDI Berichte 1545, Gesamtverkehrsforum 2000, S. 67ff.

Schreiber, R.; Civis, Citaro & Co.
In: Nahverkehrspraxis, 3/2000, S. 12ff.

Schwarz, A.; Fahrbericht des Neoplan N 6121 – Station Zukunft
In: Busmagazin / Bus-Fahrt, 4/1999, S. B4-B9

Straßenverkehrsrecht mit seinen Detailfestlegungen, Loseblatt-Textsammlung des
Verlages C.H. Beck München vom 01.10.2000

von Wedel, H.; In Dänemark fahren Pkw bald bimodal
In: VDI – Nachrichten Nr.39, September 1998

Yap, A.; Beitrag zur mathematischen Modellierung der Spurfindung im
Fahrzeugführungsproblem
In: VDI Fortschritt-Berichte, Nr. 398 / 1999, Reihe 12 / Fahrzeugtechnik

ZF-Lenksysteme, ZF-Servocom RAS-EC In: Zahnradfabrik Friedrichshafen AG,
Werksschrift, 1999

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit mit EBF Ingenieurgesellschaft für Umwelt- und Bautechnik mbH in Dresden realisiert.

Weiterhin wurden in das Projekt einbezogen:

Technische Universität Dresden, Fakultät für Verkehrswissenschaften
Technische Universität Dresden, Fakultät für Fördertechnik und Logistik
DEKRA Dresden

DB Netz der Deutschen Bahn Gruppe, Bereichsvorstand Betrieb in Frankfurt/M.
VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
Konstruktionsbüro KIWI Industrie- und Grafikdesign GbR

II. Eingehende Darstellung

1. Erzieltes Ergebnis

Das Projektergebnis liegt in Form einer Studie vor. Eine Zusammenfassung zu den dort dargestellten Ergebnissen kann wie folgt gegeben werden:

Im Rahmen der Aufgabenstellung wurden im Arbeitspaket 1 die statische Zusammenbauuntersuchung zur Bestimmung der Radstände, Überhänge sowie zur Anordnung der Achsen und des Powerpacks durchgeführt.

Das Arbeitspaket 2 umfasst das technische Konzept für das Ein- und Ausspuren sowie die damit im Zusammenhang stehenden Steuerungsprozesse beim Wechsel der Fahrwege.

In den Arbeitspaketen 3 und 4 (themenübergreifend zur Studie von EBF) erfolgte die Kongruenzprüfung der technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften sowie die Klärung der Rechtsfragen zur Sicherung der Inbetriebnahme.

Zum Arbeitspaket 1:

Statische Zusammenbauuntersuchung zur Bestimmung der Radstände, Überhänge sowie zur Anordnung der Achsen und des Powerpacks

Für die Bestimmung der wesentlichsten Parameter der Fahrgestellauslegung eines Zweiwegefahrzeugs treffen sowohl die Bestimmung für Straßenfahrzeuge, als auch für Schienenfahrzeuge zu.

Aus der StVZO, der Vorschrift für Straßenfahrzeuge, sind besonders Ausführungen zu

- Zulässigen Achslasten
- Einzelachslasten
- Gesamtgewichten
- Max. Fahrzeugüberhang
- Lenkeinrichtung und
- Kurvenlaufeigenschaften relevant.

Aus den oben zitierten Bestimmungen lassen sich die wesentlichen Zusammenhänge für die Konzipierung des Fahrgestells für das Zweiwegefahrzeug ableiten. Das betrifft im besonderen die Parameter, Radstand, vorderer Überhang und hinterer Überhang zur Realisierung der erforderlichen Kreisfahrt. Gleichzeitig erfolgt damit auch die Bestimmung und Begrenzung des Ausschermaßes.

Aus den gültigen Vorschriften für Schienenfahrzeuge / Zweiwegefahrzeuge ist im Rahmen der Studie folgenden Festlegungen besondere Aufmerksamkeit zu erweisen:

It. EBO

- Der Radsatzabstand beträgt mindestens 5,4 m.
- Der vordere sowie der hintere Überhang darf höchstens 4,2 m betragen.

It. Bauanforderung für Zweiwegefahrzeug, Richtlinie der Deutschen Bahn Nr. 931.0003 vom 01.03.1999 sind Festlegungen zu folgenden Positionen zu beachten:

- Radsatzlast
- Verhältnis der Radsatzaufstandskraft / Achslast,
- Verteilung der Radsatzlasten der Schienenführung,
- Unterschied der Radaufstandskräfte,

Im Ergebnis der Untersuchungen kann festgestellt werden, dass für die Gewährleistung optimaler fahrdynamischer Zustände, der Einhaltung der Kriterien wie Wenderadius usw. die abmessungstechnische Grundlage des Zweiwegefahrzeuges ein typisches 12 Meter Kraftomnibusfahrgestell darstellt.

Mit der erforderlichen Montage der Radsätze für die Schienenfahrt in einem 12 m Kraftomnibusfahrgestell verändern sich die Achslasten erheblich. Untersuchungen zu möglichen Montagepunkten für die Radsätze und dem Einbauort für das Powerpack wurden deshalb durchgeführt.

Dabei wurde festgestellt, dass die Montage des vorderen Radsatzes optimal hinter der Vorderachse erfolgen sollte, die Anordnung des hinteren Radsatzes aber ausschließlich hinter der Hinterachse möglich ist.

Entsprechend der Zielstellung war ein weiterer Untersuchungsansatz die Verteilung der Achslasten und Radsatzlasten in Abhängigkeit von dem ermittelten Montageort der Radsätze. Die Untersuchungen ergaben die Notwendigkeit, Teile / Gewichte, die im Überhang der Hinterachse liegen, vor der Achse anzuordnen. Mit dem Einsatz eines Unterflur-Motors vor der Hinterachse werden hier ausgeglichene Achslastverhältnisse erreicht.

Die Studie stellt Erkenntnisse zur Verteilung der Radsatzlasten am Schienenfahrzeug sowie zum Einbauort des Powerspacks (Antriebseinheit) dar und bewertet unterschiedliche Varianten. Bevorzugt wird der Einsatz eines vor der Hinterachse angeordneten Niederflur-Powerspacks zur Gewährleistung der erforderlichen Achslast-/Radsatzlastverteilung.

Ausgehend von den vorstehend ermittelten Achs-/Radsatzanordnung bietet die Studie eine Prinzipskizze für die Achsanordnung unter Berücksichtigung bekannter Radführungs-, Dämpfungs- und Federsysteme

Die Gestaltung der Einstiegsverhältnisse und Türen bleibt damit unbeeinflusst und frei wählbar.

Zum Arbeitspaket 2:

Technisches Konzept für das Ein- und Ausspuren sowie die damit im Zusammenhang stehenden Steuerungsprozesse beim Wechsel der Fahrwege

Die Untersuchungen zu dem technischen Konzept umfaßten Spurerkennung und Spurführung, Steuerung von Lenkachsen für die Spurführung von Zweiwegefahrzeugen, Bewertung der Realisierbarkeit in Bezug auf das Fahrzeuggrundkonzept und Erstellen von Prinziplösungen für Ein-und Ausstiege.

A. Spurerkennungs- / Spurführungsverfahren für das Ein und Ausspuren beim Wechsel der Fahrwege

Die Analyse der bereits im Einsatz befindlichen Spurerkennungssysteme erfolgte unter den Aspekten der geplanten Anwendung und verdeutlichte die breite Palette existierender Navigationstechniken.

Für die Untersuchungen wurde aus den vielfältigen Möglichkeiten der Gliederung die nach der Führungsart des Fahrzeugs ausgewählt und angewandt.

Den Untersuchungen und Bewertungen lag nachfolgende Gliederung zugrunde:

a) leitspurgeführt (mechanische Spurerkennung und Spurführung, aktive induktive Spurerkennung)

b) leitspurlos geführt (Leitspurlose Systeme mit künstlichen Ortsmarken / *Verfahren der Magnet- oder Lasernavigation* / und Leitspurlose Systeme mit natürlichen Landmarken / *optische Spurführung mit Kamera und Global Positioning System - GPS*)

Entsprechend der Rahmenbedingungen und den Bewertungskriterien konnte als optimale Variante der Spurführungs- und Spurerkennungssysteme zum automatischen Aufgleisen von Zweiwegefahrzeugen das induktive Prinzip mit Leitdraht ermittelt werden.

B. Untersuchung zur Steuerung von Lenkachsen für die Spurführung von Zweiwegefahrzeugen

Für die Erkennung der Entwicklungstendenzen und der Schwerpunkte beim Einsatz innovativer Lenkungsprinzipien wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die sich auf Fragestellungen zur mechanischen, mechanisch-hydraulischen, hydraulischen und elektro-hydraulischen Lenkung sowie auf die Sonderlenkung für Gelenkbusse richteten.

Unter den zur Zeit bekannten und im Einsatz befindlichen Lenkanlagen stellt die elektro-hydraulische Lenkung die innovativste Ausführung dar. Besonders ihre flexible Programmierung ermöglicht eine problemlose Anpassung an die spezifischen Einsatzprofile der Fahrzeuge. Die elektronische Steuerung ermöglicht die

Realisierung unterschiedlicher Lenkprogramme. Mit dieser Lenkanlage sind erstmalig auch Lenkstrategien möglich, die eine mechaniklose Beeinflussung und Lenkung von außen ermöglicht.

Mit der flexiblen Programmierung, der problemlosen Realisierbarkeit von Sonderlenkprogrammen und der Möglichkeit der Steuerung von außen sind elektro-hydraulische Lenkanlagen ausgezeichnet für den Einsatz zur elektrischen/elektronischen Spurführung geeignet.

C. Bewertung der Realisierbarkeit in Bezug auf das Fahrzeuggrundkonzept

Ausgehend von den im Punkt A und B dargestellten Ergebnisse ist die Realisierung der induktiven Spurerkennung und Spurführung in Zusammenwirken mit einer elektrisch/elektronischen Lenkanlage im geplanten Zweiwegefahrzeug prinzipiell möglich. Wie die recherchierten Praxisbeispiele zeigen, ist die dafür erforderliche Technik in verschiedenen Anwendungen vertreten und hat dabei Ihre Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt.

Für eine weitere Bearbeitung des Themas, im Sinne des automatischen Fahrwegwechsels, wird die sicherheitstechnische Auslegung der Komponenten und deren Zulassung im Rahmen der StVZO von besonderer Bedeutung sein.

D. Prinziplösungen für Ein-und Ausstiege

Bei der Nutzung der vorhandenen Infrastruktur durch ein Zweiwegefahrzeuge ergeben sich zwangsläufig Konfliktstellen bezüglich der Bahnsteighöhen und Einstiegbedingungen. Diese Problematik besteht für alle sogenannten Mischbetriebsfahrzeuge, die sowohl im innerstädtischen Verkehr als auch auf klassischen regionalen Eisenbahnstrecken fahren. Für die Lösung der Einstiegsproblematik sind grundsätzlich zwei Ansätze denkbar, die in der Studie recherchiert und bewertet wurden.

Dabei wurde die fahrzeugseitige Anpassung unter den präzisierten Anwendungsbedingungen als optimale Lösungsmöglichkeit definiert, bei der im Zusammenwirken mit den vorhandenen Funktionselementen der Luftfederung und Schwingungsdämpfer eine Anhebung und Absenkung des gesamten Fahrzeugaufbaus möglich ist

Prinzipskizzen verdeutlichen die Anwendungsmöglichkeiten dieser dargestellten Techniken und deren Realisierung beim Zweiwegefahrzeug DuoTrans.

Zum Arbeitspaket 3

Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen

Die gesetzlichen Bestimmungen für den Bau, die Zulassung und den Betrieb der Fahrzeuge sind in verschiedenen Rechtsvorschriften festgeschrieben.

Im Rahmen des Vorhabens wurde die Vereinbarkeit beider Rechtsvorschriften geprüft. Allgemeingültige Verordnungen, Vorschriften, Normen, Regeln sowie tangierende allgemeine Gesetze, Sicherheitsaspekte und Brandschutzbestimmungen

wurden infolge derer generellen Gültigkeit für alle Fahrzeugarten nicht besonders angeführt.

Den Bestimmungen der StVZO wurden die adäquaten bzw. kongruierenden Festlegungen der EBO gegenübergestellt. Hinzugezogen wurde das Modul 931.01 der DB.

Innerhalb der Hauptgruppen der StVZO fand eine sachbezogene Betrachtung in gewählten Untergruppen statt.

In 9 Untergruppen konnte eine vollständige Übereinstimmung der Bestimmungen festgestellt werden.

Bei 13 Untergruppen wurden z.T. erhebliche Unterschiede in den Vorschriften ermittelt. Von einfachen Fragen der Auslegung bis zu komplizierten Sachfragen besteht hier Klärungsbedarf. Die Unstimmigkeiten sind aber ausnahmslos lösbar und nicht von fundamentaler Bedeutung. Dabei sind bahntechnische Fragen in der Überzahl.

Die Studie beinhaltet einen umfassenden Vergleich und definiert den Handlungsbedarf für die Weiterführung des Vorhabens. Tabellarische Auflistungen der für den Abgleich relevanten Paragraphen der verwendeten Gesetze und Vorschriften sowie erforderlicher Klärungsbedarf ist angefügt.

2. Voraussichtlicher Nutzen

Die Untersuchungen zeigten, dass das Zweiwegekonzept wesentliche Nutzungsvorteile für die Gestaltung des Öffentlichen Personennahverkehrs bringen kann. Diese Vorteile ergeben sich nicht nur aus verkehrsorganisatorischer Sicht sondern auch unter wirtschaftlichem und gesamtgesellschaftlichem Aspekt.

Setzt man eine erfolgreiche Realisierung der erforderlichen Zwischenschritte bis zur Herstellung eines Pilotfahrzeuges voraus, kann davon ausgegangen werden, dass durch das Vorhaben für Hersteller und Betreiber positive ökonomische Kennzahlen erreicht werden. Verwiesen werden muß hier auch auf den ökologischen Nutzen in den jeweiligen Einsatzregionen sowie auf die höhere Mobilität und dadurch verbesserte Lebensbedingungen für die Nutzer.

3. Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Vorhabens wurden keine das Ergebnis des Vorhabens beeinflussenden Fortschritte bei anderen Stellen bekannt.

Die in der Studie aufgeführten Neu- oder Weiterentwicklungen bei NEOPLAN, Irisbus (CIVIS) und Bombardier betreffen nur einzelne Komponenten des im Projekt vorgestellten Vorhabens. Das betrifft auch die aktuelle Entwicklung auf dem Gebiet von GPS.

4. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist keine Veröffentlichung der Ergebnisse seitens des Zuwendungsempfängers geplant.

Im Rahmen der Abschlußpräsentation wurde festgestellt, dass trotz der Erreichung der formulierten Zielstellung weiterführende Untersuchungen erforderlich sind. Es ist davon auszugehen, dass diese als Ergebnis weiterführender Arbeiten in einer zweiten Studie vorgelegt werden können.

Anlage 1

Arbeitsetappen

Pers.-Monate

Zeitplanung in Monaten / Jahr 2000 und 2001

			06	07	08	09	10	11	12	01	02	03
1	Statische Zusammenbauuntersuchungen	gesamt 5,9										
	Geometrische und maßliche Konzipierung des Fahrgestells in Abhängigkeit von den Vorschriftenwerken	3,9	■	■	■	■	■					
	Definition der Abmessungen und geometrischen Einordnung der Komponenten	2,0			■	■	■	■	■			
2	Erstellen des technischen Konzeptes für das Ein- und Ausspuren	gesamt 5,0										
	Erfassung / Klassifizierung lokaler Bedingungen / Betreiberanforderungen	1,5	■	■	■							
	Realisierbarkeitsbewertung in Bezug auf das Fahrzeuggrundkonzept	0,5		■	■	■						
	Prüfung technischer Prinzipien	1					■	■	■			
	Variantenkonzeption für die Konstruktion eines Modulsystems für flexible Ein- und Ausstiegslösungen	2						■	■			
3	Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen	gesamt 3,5 *										
	Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen	anteilig 2,0			■	■	■	■	■	■	■	■
	Erarbeitung alternativer Varianten bei nichtkongruenten Ergebnissen	anteilig 0,5					■	■	■	■	■	■

Gesamt:

13,4

* Die Angabe der Gesamt-Personalmonate in der Arbeitsetappe 3 bezieht sich auf das Vorhaben insgesamt, die anteilige Angabe der Personalmonate betrifft die Leistung von Umwelt + Verkehr

Anlage 2

Arbeitsetappen

Pers.-Monate

Zeitplanung in Monaten / Jahr 2000 und 2001

		06	07	08	09	10	11	12	01	02	03
3	Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen	gesamt 3,5 *									
	Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen			■	■	■	■	■	■	■	
	Erarbeitung alternativer Varianten bei nichtkongruenten Ergebnissen						■	■	■	■	
4	Klärung von Rechtsfragen zur Sicherung der Inbetriebnahme	gesamt 3,7									
	Einordnung des Fahrzeuges in bestehende Betriebssysteme und Bestimmung des Anpassungsbedarfes an die Systemumgebung			■	■	■					
	Festlegung der Bedingungen für die Qualifikation/Zulassung der Fahrzeugführer						■	■			
5	Wirtschaftlichkeitsermittlung zum Einsatz des Zweiwegefahrzeuges	gesamt 7,0									
	Ermittlung relevanter Strecken	■	■	■	■	■	■	■			
	Erstellen eines Berechnungsmodells für vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen						■	■			
	linienkonkrete Wirtschaftlichkeitsermittlung						■	■	■		
	Bereitstellung von Kriterien zur Entscheidungsfindung über die Einbeziehung des Zweiwegefahrzeuges in bestehende Verkehrskonzepte									■	■

Gesamt:

11,7

* Die Angabe der Gesamt-Personalmonate in der Arbeitsetappe 3 bezieht sich auf das Vorhaben insgesamt, die anteilige Angabe der Personalmonate betrifft die Leistung von EBF

Erfolgskontrollbericht

Zuwendungsempfänger: Umwelt + Verkehr GbR Dornblüthstraße 31, 01277 Dresden	Förderkennzeichen: 19 P 0050B
Vorhabensbezeichnung: „Zweiwegefahrzeug“ - Untersuchung und Bewertung von ausgewählten Problemen und Aufgaben bei der Entwicklung und Erprobung eines Zweiwegefahrzeuges für den Personenverkehr – FuE Verbundvorhaben, Teilprojekt Umwelt + Verkehr	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2000 bis 31.03.2001	
Berichtszeitraum: 01.06.2000 – 31.03.2001	

1. Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen Zielen

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat Mobilitätsforschung für das 21. Jahrhundert in Form von Leitprojekten besonders akzentuiert und Schwerpunkte der Forschungsförderung im Bereich Mobilität, Verkehr und Transport festgelegt.

Eine technisch-technologische Lösung, bei der der Übergang Straße / Schiene / Straße ohne Umsteigen der Fahrgäste bzw. ohne Umladen der Güter erfolgt, leistet einen wichtigen Beitrag zur Realisierung des Forschungsbedarfes in diesem Bereich. Gleichzeitig kann durch die Überführung der zu erwartenden technischen Lösungsvorschläge in den Prototypenbau und deren Nutzungsfreigabe wesentlich zu Fragen der Verkehrssicherheit beigetragen werden.

Die im Rahmen des Vorhabens vorgelegten Ergebnisse leisten einen Beitrag zur Klärung wesentlicher Fragen hinsichtlich der technischen Machbarkeit für ein Zweiwegefahrzeug, das für den kombinierten Betrieb auf Schiene und Straße vorgesehen ist.

2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Der im Ergebnis des Vorhabens vorgelegte Bericht umfaßt grundsätzliche Aussagen zum technischen Konzept eines Zweiwegefahrzeuges und seiner Kompatibilität zu den bestehenden Verkehrswegen Straße und Eisenbahnschienenstrang.

Im Rahmen von statischen Zusammenbauuntersuchungen wurden grundsätzliche Erkenntnisse zur Bestimmung der Radstände, der Überhänge sowie zur Anordnung der Achsen und des Powerpacks erarbeitet.

Das Vorhaben stellt Erkenntnisse zur Verteilung der Radsatzlasten am Schienenfahrzeug sowie zum Einbauort des Powerpacks (Antriebseinheit) dar und bewertet unterschiedliche Varianten. Bevorzugt wird der Einsatz eines vor der Hinterachse angeordneten Niederflur-Powerpacks zur Gewährleistung der erforderlichen Achslast- bzw. Radsatzlastverteilung. Unter Berücksichtigung bekannter Radführungs-, Dämpfungs- und Federsysteme wird in einer Prinzipskizze die Achsanordnung dargestellt.

Im Rahmen des technischen Konzepts werden Grundfragen der Spurerkennung und Spurführung sowie der Steuerung von Lenkachsen für die Spurführung von Zweiwegefahrzeugen untersucht. Der Bericht bewertet die Realisierbarkeit in bezug auf das Fahrzeuggrundkonzept und erstellt Prinziplösungen für Ein- und Ausstiege.

Dabei wurde als optimale Variante der Spurführungs- und Spurerkennungssysteme zum automatischen Aufgleisen von Zweiwegefahrzeugen das induktive Prinzip mit Leitdraht ermittelt.

Die durchgeführten Untersuchungen zur Steuerung von Lenkachsen für die Spurführung von Zweiwegefahrzeugen ergaben, dass elektro-hydraulische Lenkanlagen durch ihre flexible Programmierung, die problemlose Realisierbarkeit von Sonderlenkprogrammen und die Möglichkeit der Steuerung von außen ausgezeichnet geeignet sind.

Im Verlauf der Untersuchungen wurde deutlich, dass das technische Grundkonzept des Zweiwegefahrzeuges wesentlich durch die unterschiedlichen Rechtsvorschriften für den Bau, die Zulassung und den Betrieb von Kraftfahrzeugen einerseits und die Festlegungen für Schienenfahrzeuge im Sinne der Eisenbahnbetriebsordnung andererseits bestimmt wird.

Außerdem zeigt die Erfahrung, dass für die Erstellung des technischen Konzeptes des Fahrzeuges auch eine typische Problematik besonders zu beachten ist, die sich für alle sogenannten Mischbetriebsfahrzeuge, die sowohl im innerstädtischen Verkehr als auch auf klassischen regionalen Eisenbahnstrecken fahren, aus der Nutzung der vorhandenen Infrastruktur ergibt.

Der Bericht bietet deshalb im Ergebnis der Untersuchungen auch Ansätze für die Lösung der Einstiegsproblematik

In Weiterführung der Erkenntnisse zur Anordnung von Achsen und Powerpack wurden Entwürfe Designstudien zum Fahrzeugaufbau und zur Außengestaltung erstellt.

In die Diskussion zur Zweiwegetechnik wurde eine Vielzahl von Institutionen und Unternehmen einbezogen. Hier zeigte die Erfahrung, daß im wesentlichen eine prinzipielle Zustimmung zu einem Zweiwegefahrzeug vorliegt. Bei einer

Weiterführung des Vorhabens sollte aber unbedingt die z. T. sehr unterschiedliche Interessenlage der Angesprochenen Beachtung finden (siehe Teilprojekt EBF).

3. Fortschreibung des Verwertungsplanes

- Erfindungen / Schutzrechte

Im Rahmen des Projektes sind Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen bzw. Schutzrechte für das Teilprojekt von Umwelt und Verkehr nicht relevant.

- Wirtschaftlicher Erfolgsaussichten nach Projektende

Setzt man eine erfolgreiche Realisierung der erforderlichen Zwischenschritte bis zur Herstellung eines Pilotfahrzeuges voraus, kann davon ausgegangen werden, dass aus gesamtgesellschaftlicher Sicht ein hoher Nutzen erreichbar ist. Das betrifft ökonomische Kennzahlen bei Herstellern und Betreibern, ökologischen Nutzen in den Einsatzregionen sowie höhere Mobilität und verbesserte Lebensbedingungen für die Nutzer.

Trotz der Akzeptanz des Vorhabens ist aus heutiger Sicht allerdings nicht mit einer kurzfristigen breiten Anwendung zu rechnen, da die erforderlichen Investitionen bei Herstellern und Betreibern und die notwendigen infrastrukturellen Änderungen nicht unerheblich sind.

- Wissenschaftliche / technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Das Ergebnis der vorliegenden Studie bestätigt die im Projektantrag formulierte Aussage, daß im Ergebnis des Vorhabens grundsätzliche Lösungsansätze für die technisch-konstruktive Konzipierung des Fahrgestells dargestellt werden können. Kontakt mit Unternehmen des Schienenfahrzeug- und Fahrzeugbaus bestätigen den Entwicklungsbedarf in diesem Bereich und geben berechtigten Anlaß zu der Aussage, dass die Weiterentwicklung des Fahrzeuggrundkonzeptes eines Zweiwegefahrzeuges für den Markt bei Fahrzeugherstellern und Waggonbauern auf großes Interesse trifft.

Zur Realisierung dieses Vorhabens sind weitere Schritte in der Zusammenarbeit mit diesen Unternehmen erforderlich.

- Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlußfähigkeit

Die erreichten Ergebnisse bestärkten den Zuwendungsempfänger in seiner Absicht, das FE-Thema in Zusammenarbeit mit Unternehmen der Wirtschaft zur Grundlage einer Produktentwicklung zu nehmen und einen Prototyp des Zweiwegefahrzeuges zu bauen. Interessenbekundungen für ein solches Vorhaben liegen vor, ein Zeitraster für ein solches Vorhaben kann aber zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht definiert werden, da sich diese Kontakte erst im Anfangsstadium befinden.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Im Rahmen des Themas konnten die sich im Verlauf des Vorhabens ergebenden spezifischen Untersuchungen für die Ausführung und Gestaltung leichter, radnabenmotorgetriebener Einzelschienenfahrwerke nicht realisiert werden. Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass es auf diesem Gebiet für leichte Schienenfahrwerke (11,5t Einzelachslast und 18t Gesamtlast) noch keine anwendungsreifen Untersuchungen und Aussagen zu solchen Problemen wie z. B. Federsystem, Antriebsverhalten usw. gibt.

Für diese Komplexe macht sich eine Fortschreibung der Arbeiten erforderlich.

5. Präsentationsmöglichkeiten

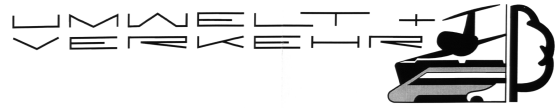
Die vom Kooperationspartner EBF angebotenen Präsentationen der Ergebnisse vor einzelnen Zuständigkeitsbereichen des Örtlichen Personennahverkehrs werden auch durch den Zuwendungsempfänger genutzt, um durch gleichzeitige Darlegung des technischen Konzepts bestehende Vorbehalte gegenüber dem Zweibegefahrzeug abzubauen und damit Hemmnisse für die Systemeinführung zu beseitigen.

Zur Präsentation des technischen Konzepts selbst sind zur Zeit keine Aktivitäten vorgesehen. Da der Markt in diesem Bereich sehr sensibel ist, sind zunächst die erforderlichen Absprachen mit möglichen Produzenten des Prototyps zu treffen und Möglichkeiten und Formen der Präsentationen zu gegebener Zeit mit ihnen festzulegen.

6. Einhaltung der Zeit- und Kostenplanung

Der vom Zuwendungsgeber im Bewilligungsbescheid festgelegte Kosten- und Zeitplan wurde bei der Projektrealisierung eingehalten. Eine geringfügige Überschreitung der Gesamtvorkalkulation in der Position Reisekosten wurde vom Zuwendungsempfänger durch Eigenmittel ausgeglichen.

Das Vorhaben wurde planmäßig am 31.03.2001 abgeschlossen.



Anlagenband

„Zweiwegefahrzeug“ Entwicklung, Bau und Erprobung eines Zweiwegefahrzeuges zur Personenbeförderung Straße / Schiene

- Teilprojekt Umwelt + Verkehr -

Förderkennzeichen: 19P0050B



Dresden - Mai 2001

Gliederung

	<u>Seite</u>
I. Statische Zusammenbauuntersuchung zur Bestimmung der Radstände, Überhänge sowie zur Anordnung der Achsen und des Powerpacks	4
1. Vorschriften	4
1.1. Straßenfahrzeuge	4
1.2. Schienenfahrzeug / Zweiwegefahrzeug	6
2. Anordnung der Fahrzeugachsen für die Straßenfahrt	7
3. Anordnung der Radsätze für die Schienenfahrt	8
3.1. Der vordere Radsatz	8
3.1.1. Anordnung vor der Vorderachse	8
3.1.2. Anordnung hinter der Vorderachse	8
3.2. Der hintere Radsatz	9
4. Verteilung der Achslasten und Radsatzlasten	9
4.1. Achslasten am Straßenfahrzeug	9
4.2. Radsatzlasten am Schienenfahrzeug	10
5. Anordnung des Powerpacks	10
6. Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Anordnung der Achsen	12
7. Gestaltungsvarianten zum Außendesign	12
8. Zusammenfassung	13
9. Weiterführende Untersuchungen	13
II. Technisches Konzept für das Ein- und Ausspuren sowie die damit im Zusammenhang stehenden Steuerungsprozesse beim Wechsel der Fahrwege	14
A Spurerkennungs-/Spurführungsverfahren für das Ein- und Ausspuren beim Wechsel des Fahrweges	14
1. Aspekte und Kriterien der geplanten Anwendung	14
2. Analyse von Spurerkennungsverfahren	14
3. Spurerkennungsprinzipien	15
3.1. Spurerkennung für leitspurgeführte Fahrzeuge	15
3.1.1. Mechanische Spurerkennung	15
3.1.2. Induktive Spurerkennung	19

3.2.	Leitspurlos geführte Fahrzeuge	24
3.2.1.	Leitspurlos mit künstlichen Ortsmarken	25
3.2.1.1.	Magnetnavigation	25
3.2.1.2.	Lasernavigation	27
3.2.2.	Leitspurfrei mit natürlichen Landmarken	28
3.2.2.1.	Optische Spurführung mit Kamera	28
3.2.2.2.	Global Positioning System (GPS)	31
4.	Auswertung	31
4.1.	Rahmenbedingungen für die Anforderungen an ein Spurerkennungssystem für ein Zweiwegefahrzeug	31
4.2.	Anforderungskriterien	32
4.3.	Bewertungskriterien	32
4.4.	Bewertung von Spurführungssystemen	33
4.5.	Ergebnis	33
5.	Zusammenfassung	34
B	Untersuchung zur Steuerung von Lenkachsen für die Spurführung von Zweiwegefahrzeugen	36
1.	Allgemeine Anforderungen an Lenkanlagen im Nutzfahrzeug und Kraftomnibus	36
2.	Einteilung der Lenkungsarten	36
3.	Lenkprinzipien	37
3.1.	Vorderachslenkung	37
3.1.1.	Mechanische Lenkung	37
3.1.2.	Mechanisch-hydraulische Lenkung	37
3.1.3.	Hydraulische Lenkung	37
3.1.4.	Elektro-hydraulische Lenkung	37
3.1.5.	Sonderlenkung der Vorderachse zur Spurführung	39
3.2.	Hinterlauf-, Vorderlauf- und Nachlaufachslenkung	40
3.2.1.	Mechanische Steuerung	40
3.2.2.	Mechanisch-hydraulische Steuerung	40
3.2.3.	Elektro-hydraulische Steuerung	43
3.2.4.	Sonderlenkung für Gelenkbusse	50
4.	Zusammenfassung	51
C	Bewertung der Realisierbarkeit in Bezug auf das Fahrzeuggrundkonzept	51
D	Prinziplösungen für Ein- und Ausstiege	53

III.	Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen	55
1.	Gesetzliche Bestimmungen für ein Zweibegefahrzeu	55
1.1.	Zulassungsverfahren StVZO/EBO	56
1.2.	Pflichtversicherung StVZO/EBO	58
1.3.	Bauvorschriften StVZO/EBO	59
2.	Kurzfassung	69
3.	Lichttraumprofil des Zweibegefahrzeu	70
4.	Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffenden Paragrafen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze – StVZO	71
5.	Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffen Paragrafen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze – EBO	82
6.	Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffen Paragrafen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze – Modul 931.0001 und 931.0003	84
7.	Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffen Paragrafen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze – BO Strab	89
8.	Kläruungsbedarf mit Verantwortlichen der Bahn zu Fragen der Auslegung der EBO und des Moduls 931.01.	92
IV.	Literatur	95
V.	Anlagen	97
	Anlage 1 - Zweibegefahrzeu Straße/Schiene für den öffentlichen Personennahverkehr	97
	Anlage 2 - Seitenansicht des Zweibegefahrzeu	98
	Anlage 3 - Schematischer Karosserieaufbau des Zweibegefahrzeu	99
	Anlage 4 - Schematischer Aufbau der Hauptgruppen des Zweibegefahrzeu	100
	Anlage 5 - Schema des Fahrgestells des Zweibegefahrzeu	101
	Anlage 6 - Seitenansicht mit Radständen	102

Vorwort

Im Rahmen der Aufgabenstellung wurde im Arbeitspaket I die statische Zusammenbauuntersuchung zur Bestimmung der Radstände, Überhänge sowie zur Anordnung der Achsen und des Powerpacks durchgeführt.

Das Arbeitspaket II umfasst das technische Konzept für das Ein- und Ausspuren sowie die damit im Zusammenhang stehenden Steuerungsprozesse beim Wechsel der Fahrwege.

In den Arbeitspaketen III und IV erfolgte die Kongruenzprüfung der technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften, als auch die Klärung der Rechtsfragen zur Sicherung der Inbetriebnahme.

I. Statische Zusammenbauuntersuchung zur Bestimmung der Radstände, Überhänge sowie zur Anordnung der Achsen und des Powerpacks

1. Vorschriften

Für die Bestimmung der wesentlichsten Parameter der Fahrgestellauslegung eines Zweiwegefahrzeugs treffen sowohl die Bestimmung für Straßenfahrzeuge, als auch für Schienenfahrzeuge zu. Im Rahmen der Untersuchung zur Bestimmung der Radstände, Überhänge und Achsanordnung werden nur die entsprechend zutreffenden Vorschriften aus der StVZO, der Betriebsordnung für Kraftfahrzeuge, der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung sowie der Richtlinie für Zweiwegefahrzeuge aufgeführt und angewandt.

1.1. Straßenfahrzeuge

• StVZO

- Zulässige Achslasten und Gesamtgewicht § 34 (3)

Die zulässige Achslast ist die Achslast, die unter Berücksichtigung der Werkstoffbeanspruchung und der Vorschriften für Motorleistung, Auflaufbremse, Dauerbremse nicht überschritten werden darf.

Das zulässige Gesamtgewicht ist das Gewicht, das nicht überschritten werden darf. Die Summe aus den zulässigen theoretischen Achslasten kann dabei größer als das zulässige Gesamtgewicht sein. In diesem Fall muss die zulässige Achslast reduziert werden.

- Einzelachslasten § 34 (4)

Für Kraftfahrzeuge mit Luftreifen darf die zulässige Einzelachslast folgende Werte nicht übersteigen:

Vorderachse	10,0 t
Hinterachse	10,0 t
Angetriebene Achse	11,5 t

- Gesamtgewicht § 34 (5)

Das zulässige Gesamtgewicht ,unter Beachtung der Vorschriften für die Achslasten, darf für Fahrzeuge mit nicht mehr als 2 Achsen maximal 18 t betragen.

- Max. Fahrzeugüberhang

Der max. zulässige Fahrzeugüberhang darf 60 % des Radstandes betragen. Für ein Fahrzeug mit einem Radstand von 6,0 m ist damit ein Überhang von maximal 3,6 m zulässig.

- Lenkeinrichtung § 38

Für die Erhaltung der Lenkbarkeit für Fahrzeuge mit ortsfest montierten Zusatzaggregaten hinter der Hinterachse geben die Fahrzeughersteller unterschiedliche Mindestwerte für die verbleibende Vorderachslast an. Diese Werte liegen entsprechend den Festlegungen der verschiedenen Hersteller zwischen 25 % bis 30 % der zulässigen Gesamtmasse. Für ein 2-achsiges Fahrzeug mit 18 t Gesamtgewicht ergibt sich daraus eine Mindestbelastung der Vorderachse von 4,5 t bis 5,4 t.

- Kurvenlaufeigenschaften § 32 d

Kraftfahrzeuge, Kraftomnibusse müssen so gebaut und eingerichtet sein, dass die bei einer Kreisfahrt von 360° überstrichene Ringfläche mit einem äußeren Radius von 12,5 m keine größere Breite als 7,2 m hat. Beim Einfahren aus der tangierenden Gerade in den Kreis darf kein Teil des Kraftfahrzeuges oder der Fahrzeugkombination diese Gerade um mehr als 0,8 m nach außen überschneiden. Die sich ergebende Ringfläche zwischen den beiden Radien darf bei der Kreisfahrt eines Straßenfahrzeugs an keinem Punkt überschritten werden.

Aus diesen Bestimmungen lassen sich die wesentlichen Zusammenhänge für die Konzipierung des Fahrgestells für das Zweiwegefahrzeug ableiten. Das betrifft im besonderen die Parameter, Radstand, vorderer Überhang und hinterer Überhang zur Realisierung der erforderlichen Kreisfahrt. Gleichzeitig erfolgt damit auch die Bestimmung und Begrenzung des Ausschermaßes. Im Ergebnis der zu ermittelten Radstandes und Überhänge muß gewährleistet sein, dass die Ringflächenbreite auch bei voll eingeschlagenem Lenkwinkel nicht verlassen wird.

1.2. Schienenfahrzeug / Zweiwegefahrzeug

- **EBO § 21 Abs. 4**

Wegen des schlechten Laufs bei kurzen Achsabständen wird in Anlehnung an § 7 Ziff. 1 und 4 des Revisionstextes der TE (vgl. auch § 32 Abs.6 RIV) für neu zu bauende Wagen ohne Drehgestell ein Mindestmaß für den Abstand der Endradsätze von 4500 mm vorgeschrieben. Darüber hinaus wird zur Begrenzung der Überhänge gefordert, dass das Verhältnis des Radsatzabstandes zur Gesamtlänge mindestens 45:100 beträgt. Der Abstand zwischen Endradsätzen und Puffer (Überhang) ist für alle Fahrzeuge mit höchstens 4,2 m vorgegeben. Für das geplante Fahrzeug mit einer Gesamtlänge von 12 m ergibt sich daraus:

- Der Radsatzabstand beträgt mindestens 5,4 m.
- Der vordere sowie der hintere Überhang darf höchstens 4,2 m betragen.

- **Bauanforderung für Zweiwegefahrzeuge
Richtlinie der Deutschen Bahn Nr. 931.0003 vom 01.03.1999**

- Radsatzlast – Punkt 3.11 der Richtlinie

Der Raddurchmesser beschränkt die höchstzulässige Radsatzlast. Die Grenzwerte müssen der Tabelle in Anhang 3 entsprechen.

<u>Messkreisdurchmesser</u>	<u>Größte statische Radlast</u>
390 mm bis 330 mm	9,5 t
470 mm bis 390 mm	10,5 t
550 mm bis 470 mm	12,5 t
630 mm bis 550 mm	14,5 t
680 mm bis 630 mm	17,0 t
760 mm bis 680 mm	18,5 t usw.

Entsprechend der StVZO wird die maximal zulässige Achslast für angetriebene Achsen auf 11,5 t begrenzt. Mit dieser Festlegung ergibt sich automatisch auch eine Beschränkung der für den Schienenradsatz möglichen Belastung. Damit kann für die mögliche Radsatzlast, durch die StVZO begrenzt, ein Messkreisdurchmesser von 550 mm als kleinster erforderlicher Durchmesser ermittelt werden.

- Verhältnis der Radsatzaufstandskraft / Achslast – Punkt 3.12 der Richtlinie

Das Verhältnis der Radsatzaufstandsfläche der Schienenführung zur entsprechenden Achslast des Fahrzeuges hat der in Anhang 4 dargestellten Kurve zu entsprechen.

- Verteilung der Radsatzlasten der Schienenführung – Punkt 3.13 der Richtlinie

Das Gewicht ist auf die vorhandenen Radsätze der Schienenführung möglichst gleichmäßig zu verteilen. Ist dies nicht möglich, darf unter Berücksichtigung der zulässigen Radsatzlast das Verhältnis 2:1 nicht überschritten werden.

- Unterschied der Radaufstandskräfte – Punkt 3.14 der Richtlinie

Der Radaufstandskraftunterschied der Räder eines Radsatzes darf maximal 8 % der Radlast betragen, jedoch nicht mehr als 1000 kg. Die vorgegebenen Werte müssen bei angepresster Schienenführung und mit An- und Aufbauten in Transportstellung eingehalten werden.

2. Anordnung der Fahrzeugachsen für die Straßenfahrt

Für die Gewährleistung optimaler fahrdynamischer Zustände, der Einhaltung der Kriterien wie Wenderadius usw. stellt die abmessungstechnische Grundlage des Zweiwegefahrzeug ein typisches 12 Meter Kraftomnibusfahrgestell dar.

- typischer Radstand	5800 - 6000 mm
- Überhang vorn	ca. 2800 mm
- Überhang hinten	ca. 3200 mm
- Wendekreis	ca. 21,0 m - 22,0 m
- Spurkreis	ca. 17 m
- VA-Last	ca. 7,5 t - 8,5 t
- HA-Last (angetrieben)	11,5 t
- zul. Gesamtmasse	18,0 t

Mit den dargestellten optimalen Abmessungen werden die Ringfläche und das Ausschermmaß entsprechend der StVZO § 32d –Kurvenlaufeigenschaften- eingehalten. Fahrzeuge in dieser Ausführung erfüllen alle gestellten Forderungen der StVZO und haben sich in vielfältigen Praxiseinsätzen bewährt.

Da sowohl die Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung als auch die Richtlinie Nr. 931.003 bezüglich des Einsatzes als Schienenfahrzeug keine Einschränkungen oder Ergänzungen erfordern, können die weiteren Betrachtungen auf der Basis der aufgeführten technischen Daten erfolgen.

Mit der erforderlichen Montage der Radsätze für die Schienenfahrt in einem 12 m Kraftomnibusfahrgestell verändern sich die Achslasten erheblich. Mit den entsprechend Punkt 4 ermittelten Montagepunkten für die Radsätze und den im Punkt 6 dargestellten Einbauort für das Powerpack ergeben sich ausgeglichene Achslastverhältnisse.

3. Anordnung der Radsätze für die Schienenfahrt

Ausgehend von den konzipierten Grundabmessungen für das Fahrgestell für Straßenfahrt mit einem typischen Radstand von ca. 6000 mm ist die Anordnung der Radsätze prinzipiell vor oder hinter den jeweiligen Fahrzeugachsen möglich.

3.1. Der vordere Radsatz

3.1.1. Anordnung vor der Vorderachse

Für die Anordnung des vorderen Radsatzes vor der Vorderachse ergeben sich folgende Gesichtspunkte für die Anwendbarkeit:

- der erforderliche Bauraum ist insbesondere durch den in diesem Bereich liegenden Einstieg und dem Türsystem nicht vorhanden.
- Durch die zusätzliche Masse des Radsatzes vor der Vorderachse wird die Achslastverteilung ungünstig verändert und damit auch die fahrdynamischen Eigenschaften (Lenkverhalten) negativ beeinflusst.
- Der nach der EBO zulässige Überhang von max. 4,2 m wird eingehalten.

Schlussfolgerung: Die Montage des vorderen Radsatzes vor der Vorderachse ist nicht möglich.

3.1.2. Anordnung hinter der Vorderachse

Bei der Anordnung des vorderen Radsatzes hinter der Vorderachse ergeben sich nachstehende Kriterien:

- Der erforderliche Bauraum wird durch keine vorgegebenen Bauteile eingeschränkt und kann optimal gestaltet werden.
- die Achslastverteilung wird günstig beeinflusst. Bei angehobenen Straßenfahrwerk erhöht sich die Achslast auf dem Radsatz und damit die Adhäsionskräfte.
- Die Gestaltung des vorderen Einstiegsbereiches wird nicht vom Radsatz beeinflusst. Der hintere Einstiegsbereich ist ausreichend weit vom Radsatz entfernt und damit ohne Einschränkungen gestaltbar.
- Der zulässige Überhang entsprechen EBO § 21 Abs.4 mit höchstens 4,2 m kann eingehalten werden.

Schlussfolgerung: Die Montage des vorderen Radsatzes hinter der Vorderachse ist optimal möglich.

3.2. Der hintere Radsatz

Die Anordnung des hinteren Radsatzes ergibt sich aus der Abhängigkeit der Anordnung des vorderen Radsatzes sowie den Forderungen nach der EBO und Richtlinie DS 93101.

- Das Verhältnis des Radsatzabstandes zur Gesamtlänge hat mindestens 45:100 zu betragen. Bei einer Fahrzeuggesamtlänge von 12 m beträgt der erforderliche Radsatzabstand damit mindestens 5,4 m.
- Die Anordnung des Radsatzes vor der Hinterachse erfüllt diese Forderung nicht.
- Mit einer Anordnung hinter der Hinterachse kann die Forderung sicher erfüllt werden. Der Radsatzabstand ist dabei unter Berücksichtigung der erforderlichen und zulässigen Achslasten in einem größeren Bereich variierbar.
- Der Abstand zwischen Endradsätzen und Puffer (Überhang) darf höchstens 4,2 m betragen.
- Mit der Anordnung des Radsatzes vor der Hinterachse ergibt sich ein Überhang größer als 4,2 m.
- Die Anordnung hinter der Hinterachse ermöglicht einen Überhang kleiner als 4,2 m.

Schlussfolgerung: Die Anordnung des hinteren Radsatzes ist ausschließlich hinter der Hinterachse möglich.

4. Verteilung der Achslasten und Radsatzlasten

4.1. Achslasten am Straßenfahrzeug

Die Verteilung der Achslasten erfolgt bei Straßenfahrzeugen in der Art, dass die Antriebsräder eine maximale Belastung erfahren sollen, damit eine entsprechende Fahrdynamik gewährleistet werden kann. Die Vorderachse muss dabei jedoch die in der StVZO geforderte Mindestbelastung aufweisen. Diesem Konzept Rechnung tragend, wurden deshalb in der StVZO eine Belastung der angetriebenen Hinterachse mit 11,5 t bei einem Fahrzeuggesamtwicht von 18,0 t zugelassen. Die im Punkt 2 aufgeführten typischen Fahrgestellabmessungen berücksichtigen diese Zusammenhänge.

Mit dem Einsatz der Radsätze wie sie im Punkt 3 ermittelt wurden verändert sich das Verhältnis besonders an der Hinterachse negativ. Die Hinterachse wird über das zulässige Maß belastet. Deshalb wird es erforderlich Teile/Gewichte, die im Überhang der Hinterachse liegen, vor der Achse anzuordnen.

Mit dem Einsatz eines Unterflur-Motors vor der Hinterachse können wieder ausgeglichene Achslastverhältnisse hergestellt werden.

4.2. Radsatzlasten am Schienenfahrzeug

Bei Schienenfahrzeugen ist im Gegensatz zu den Straßenfahrzeugen das Gewicht möglichst gleichmäßig, im Verhältnis 1:1, auf die Radsätze aufzuteilen (Richtlinie DS 93101). In Ausnahmefällen ist ein Verhältnis bis zu 2:1 möglich. Entsprechend des geringen Reibwertes zwischen Metallrad und Metallschiene soll mit dieser Verteilung die Erreichung optimaler Adhäsionskräfte und ein ruhiger Lauf erreicht werden.

Bei dem zu konzipierende Fahrzeug ist eine Gewichtsverteilung im Verhältnis von 1:1 besonders wichtig. Insbesondere unter Beachtung der sich ständig ändernden Belastungsverhältnisse durch Fahrgastwechsel und Standort des Fahrgastes ist im Grundkonzept ein Verhältnis 1:1 anzustreben.

Mit dem ermittelten Konzept der Radsatzanordnung verringern sich bei Schienenfahrt die Massen, die dem hinteren Radsatz zuzuordnen sind, und belasten im gleichen Maße den vorderen Radsatz stärker. Mit dieser Auslegung sind gute Voraussetzung zur Realisierung einer gleichmäßigen Gewichtsverteilung gegeben.

5. Anordnung des Powerpacks

Das Powerpack (Antriebseinheit) kann im Kraftomnibus prinzipiell an verschiedenen Einbauorten eingesetzt werden. Daraus ergeben sich die Bezeichnungen:

- Frontmotor
- Mittelmotor
- Heckmotor

Ausgehend von der Bezeichnung nach dem Einbauort ergibt sich eine Vielzahl von Einbaulagen, die auch untereinander kombiniert werden können und eine genauere Klassifizierung ermöglichen, so z.B.

- querstehend
- längsstehend
- liegend
- unterflur
- Turmbauweise
- rechts stehend
- links stehend usw.

Der Einsatz der verschiedenen Motoren wird bei Kraftomnibussen unter anderem nach folgenden Kriterien bestimmt:

- Geräuscharm
- Wartungsfreundlichkeit
- Geringe Beeinflussung des Fahrgastraumes zur Gewährleistung maximaler Fahrgastzahlen
- Optimale Achslastverteilung
- Maximale Ausnutzung der Achslast auf der Antriebsachse zur Sicherung optimaler Fahr- und Bremseigenschaften
- Kurze Wege im Antriebsstrang
- Maximaler Gepäckraum

Diese Kriterien werden am besten durch den Einbau von Motoren im Heckbereich erfüllt. Dabei werden entsprechend den konkreten Gegebenheiten die unterschiedlichsten Einbaulagen, oftmals unterflur, angewandt. Diese Anordnung stellt die Standardausführung im heutigen modernen Busbau in der 12 Meter-Klasse dar.

Die Anordnung des Motors zwischen den Achsen als Mittel-/Unterflurmotor erfüllt die aufgeführten Kriterien in einem geringeren Maße. Der Einsatz dieser Lösung erfolgt aus konstruktiven Gründen, wenn der Einsatz eines Heckmotors nicht möglich ist.

Der Einsatz von Frontmotoren erfolgt bevorzugt bei kleineren Fahrzeugen und dabei häufig im Zusammenhang mit einem Frontantrieb.

Der Einsatz von Powerpacks auf dem Fahrzeugdach führt zu einer erheblichen Verschlechterung des Kippmomentes und läuft den Entwicklungen nach erhöhter Fahrzeugsicherheit entgegen. Ein Einsatz wird deshalb auch in Zukunft nicht erfolgen. Der Einsatz von bestimmten technischen Einrichtungen auf dem Fahrzeugdach, wie z.B. Klimaanlage oder Bremswiderstände bei Elektroantrieben, stellen eine bauteilbedingte Sonderlösung dar. Entsprechend den Ausführungen besitzt auch das geplante 12 m Fahrzeug das Powerpack im Heckbereich.

Mit der Ermittlung der möglichen Einbaulage der Schienenradsätze und dem Heckmotor ergibt sich jedoch eine ungünstige Achslastverteilung und eine Überlastung der Hinterachse.

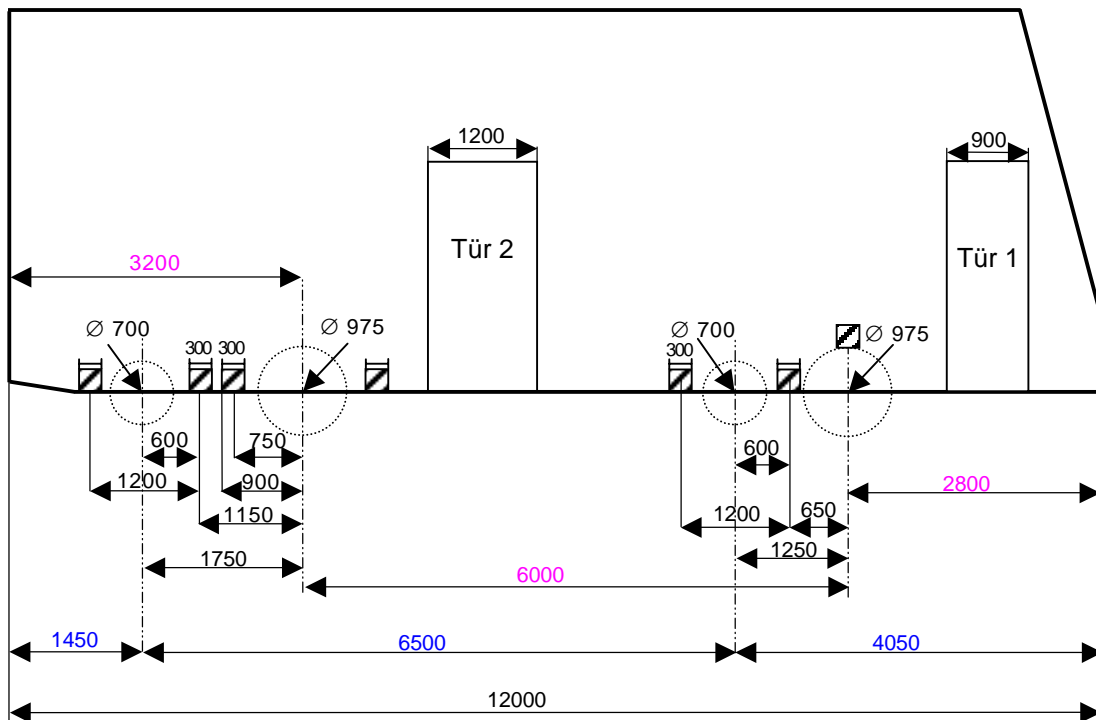
Diesem Kriterium entgegensteuernd wird es erforderlich, den Einbauort des Powerpacks vor die Hinterachse zu verschieben. Mit der Anordnung als Mittel-/Unterflur-Powerpack in Achsnähe kann eine optimale Achslastverteilung für Straßenfahrt und gleichmäßige Lastverteilung für Schienenfahrt erreicht werden.

Schlussfolgerung: Einsatz eines vor der Hinterachse angeordneten Niederflur-Powerpacks zur Gewährleistung der erforderlichen Achslast-/Radsatzlastverteilung.

6. Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Anordnung der Achsen

Ausgehend von der vorstehend ermittelten Achs-/Radsatzanordnung wurde die Prinzipskizze erstellt. Die Berücksichtigung bekannter Radführungs-, Dämpfungs- und Federsysteme führte zu den angenommenen Abständen.

Prinzipskizze Hauptabmessungen



- Straßenfahrwerk
- Schienenfahrwerk

7. Gestaltungsvarianten zum Außendesign

Im Rahmen der durchgeführten statischen Zusammenbauuntersuchungen wurde deutlich, dass grundsätzliche Fragen des Fahrzeugaufbaus, wie die Radsatz- und Achsanordnung, die Anordnung der Komponenten des Lift- und Federungssystems sowie die Platzierung des Antriebspaketes zu Konsequenzen für das Außendesign des Fahrzeuges führen werden.

Gleichzeitig gilt, dass die zutreffenden Vorschriften aus der StVZO, der Betriebsordnung für Kraftfahrzeuge, der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung sowie der Richtlinie für Zweiwegefahrzeuge in ihrer vollen Gültigkeit Berücksichtigung finden müssen.

Das betrifft aus der StVZO besonders Festlegungen zu zulässigen Achslasten, Einzelachslasten und Gesamtgewicht, Bestimmungen zum Fahrzeugüberhang und zu Kurvenlaufeigenschaften sowie zur Lenkeinrichtung im Zusammenhang mit Achslasten.

Zu beachten ist, dass diese Festlegungen durch die EBO und die Bauanforderung für Zweiwegefahrzeuge, Richtlinie der Deutschen Bahn Nr. 931.0003 vom 01.03.1999 hinsichtlich

- der Radsatzabstände und Überhänge
- der Radsatzlasten und ihrer Verteilung
- des Verhältnisses der Radsatzaufstandsfläche der Schienenführung zur entsprechenden Achslast des Fahrzeuges
- der Radaufstandskräfte sowie
- der Kurvenlaufeigenschaften

modifiziert werden.

Ausgehend von den konzipierten Grundabmessungen in einem 12 m Kraftomnibusfahrgestell für Straßenfahrt mit einem typischen Radstand von ca. 6000 mm wurden deshalb Designstudien zur Gestaltung des Zweiwegefahrzeuges durchgeführt, die als Anlagen (Abschnitt V) beigelegt werden.

8. Zusammenfassung

Entsprechend den konkreten Fahrzeugabmessungen, wie im Punkt 6 beschrieben, ist eine Montage des vorderen Radsatzes vor der Vorderachse nicht möglich. Der Einbau muss hinter der Vorderachse erfolgen. Mit dem ermittelten Einbaupunkt des vorderen Radsatzes hinter der Vorderachse ergibt sich der Einbau des hinteren Radsatzes hinter der Hinterachse. Mit dieser Anordnung der Radsätze werden die genannten einschlägigen Vorschriften berücksichtigt und erfüllt.

Weiterhin bleiben mit dieser Lösung die Gestaltung der Einstiegsverhältnisse und Türen unbeeinflusst und frei wählbar.

Die unterschiedlichen Anforderungen an die Achslastverteilung kann mit dem ermittelten Lösungsprinzip und dem Einsatz eines Unterflur Diesellaggregates vor der Hinterachse, optimal gestaltet werden.

9. Weiterführende Untersuchungen

Im Rahmen des Themas konnten die sich ergebenden spezifischen Untersuchungen für die Ausführung und Gestaltung leichter, radnabenmotorgetriebener Einzelschienenfahrwerke nicht realisiert werden. Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass es auf diesem Gebiet für leichte Schienenfahrwerke, 11,5 t Einzelachslast und 18 t Gesamtlast, noch keine anwendungsreifen Untersuchungen und Aussagen zu solchen Problemen wie z.B. Federsystem, Antriebsverhalten usw. gibt. Für diese Komplexe macht sich eine Fortschreibung der Arbeiten erforderlich.

II. Technisches Konzept für das Ein- und Ausspuren sowie die damit im Zusammenhang stehenden Steuerungsprozesse beim Wechsel der Fahrwege

Die Untersuchungen zur Spurerkennung und Spurführung als eines der wichtigsten Elemente beim Fahrwegwechsel wurden prinzipiell aus der Sicht der Einsatzbedingungen für die Personenbeförderung vorgenommen. Dazu erfolgte eine umfangreiche Recherche in Fachzeitschriften und Fachbüchern, bei der bekannte und teilweise noch in Entwicklung befindliche Führungssysteme, getrennt nach leitspurgeführten und leitspurlos geführten Systemen analysiert und bewertet wurden.

Ein weiteres wesentliches Kriterium für den Fahrwegwechsel ist die Steuerung der Lenkachse mit Hilfe der aus der Spurerkennung gewonnenen Signale. Dazu wurden die Möglichkeiten verschiedener Lenksysteme untersucht und einer Bewertung unterzogen.

A Spurerkennungs-/Spurführungsverfahren für das Ein und Ausspuren beim Wechsel der Fahrwege

Die Spurerkennungs- und Spurführungsverfahren sind Bestandteil der Navigationstechnik. Im weiteren Verlauf der Ausarbeitung wird deshalb auch teilweise der Begriff der Navigationstechnik angewandt. Die Navigation ist definiert als Zielsuche und Führung eines Objektes im Schienen- und Straßenverkehr, in der Luft-, Schiff- und Raumfahrt.

1. Aspekte und Kriterien der geplanten Anwendung

Als Aspekte der geplanten Anwendung werden betrachtet:

- Automatisches Einspuren
- Fahrzeuge mit mehr als zwei Achsen
- Zugfahrzeug mit Hängern
- Fahrzeuge mit mehreren lenkbaren Achsen

Als weitere Kriterien der geplanten Anwendung wurden festgelegt:

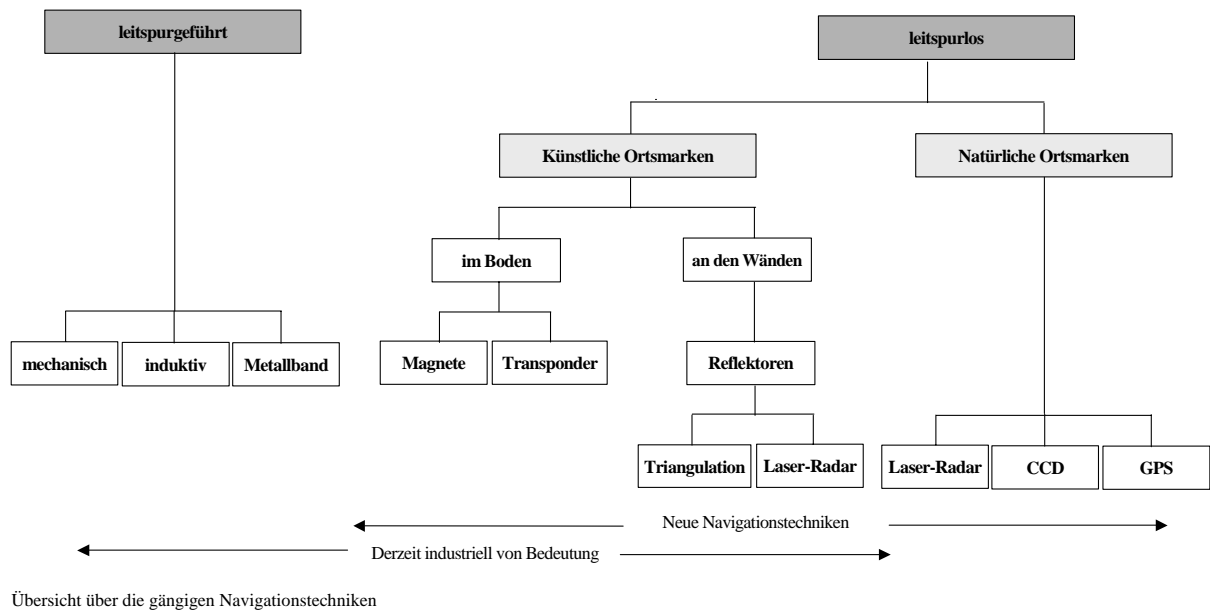
- Einsatzort öffentlich freier Verkehrsraum
- Atmosphärischer Witterungs- und Umwelteinflüsse
- Länge der Erkennungsstrecke max. 200 Meter
- Die auszuwählende Erkennungs- und Einspurstrecke wird über einen längeren Zeitraum (Jahre) nicht verändert

2. Analyse von Spurerkennungsverfahren

Die Analyse der bereits im Einsatz befindlichen Spurerkennungssysteme erfolgt unter den Aspekten der geplanten Anwendung wie unter Punkt 1 beschrieben. Weitere grundlegende Kriterien, die sich aus dem geplanten Fahrzeugeinsatz ergeben, werden im Punkt 1 ebenfalls aufgeführt und in die Analyse mit einbezogen.

3. Spurerkennungsprinzipien

Aus den vielfältigen Möglichkeiten der Gliederung wurde die nach der Führungsart – Leitspur geführt / Leitspurlos geführt- des Fahrzeugs ausgewählt und angewandt. Diese Einteilung umfasst die möglichen Varianten der Spurerkennung entsprechend



3.1. Spurerkennung für leitspurgeführte Fahrzeuge

3.1.1. Mechanische Spurerkennung

Die mechanische Spurerkennung und Spurführung ist eine der am längsten bekannten und angewandten Führungsprinzipien. In den vielfältigsten Formen kommt sie aufgrund ihres einfachen und überschaulichen Aufbaus zur Anwendung. Typische Anwendungsbeispiele sind alle Schienensysteme, Kabinenbahnen, Standseilbahnen und viele andere mehr. Nachstehend werden verschiedene neue Anwendungen in modernen Verkehrssystemen recherchiert.

Im Jahre 1979 wurde von Mercedes-Benz ein spurgeführtes Fahrzeugkonzept, die O-Bahn, vorgestellt. Die Spurerkennung/Spurführung bestand aus speziellen Omnibustrassen mit Leitschienen aus Beton oder Stahl, an denen die an der Lenkanlage befestigten Spurführungsrollen entlang laufen. Die Übertragung auf die Lenkanlage erfolgte ausschließlich mechanisch. Die technische Beschreibung ist in den Patenten DE 38 41 772 und DE 34 05 872 hinterlegt (Quelle: R. Pütz). Die O-Bahn fand in Deutschland keine weitere Verbreitung aufgrund der hohen Kosten für die präzise, millimetergenau zu gestaltende Fahrweginfrastruktur. Das Prinzip der mechanischen Spurführung der O-Bahn wird seit 1986 in Adelaide und seit Anfang der neunziger Jahre in Birmingham sowie Leeds angewandt.

Die fahrzeugseitige Ausrüstung mit Spurführungsrollen kostet ca. 5000 DM pro Bus. Die Infrastrukturkosten für eine 2,4 km lange Spurführungstrasse wurden mit rund 10 Mio. DM angegeben.

Bewertung

Vorteile des Systems:

- Als Vorteil kann nur die einfache, optisch erkennbare und nachvollziehbare Technik angesehen werden. Weitere Vorteile sind aus der Sicht des heutigen Stand der Technik nicht erkennbar.

Wesentliche Nachteile des Systems sind:

- begrenzte Genauigkeit der Führung
- hoher Flächenbedarf, da zweckgebundener Fahrweg erforderlich ist
- hohe Fertigungsgenauigkeit des Fahrweges zur Erzielung einer hinreichenden Führungsgüte
- hohe Infrastrukturkosten
- hoher Wartungsaufwand der mechanischen Bauteile

Das System entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und ist entsprechend der aufgeführten Nachteile für den Einsatzfall nicht interessant.

Ein Bus-Bahn-Projekt mit mechanischer Spurführung, das GLT/TVR-System (Guided-Light-Transit), wird 1990 durch H. Hondius vorgestellt. Die Spurführung erfolgt mittig zum Zug gelagerter Stahl-Führungsschiene. Jede Achse des mehrteiligen Zuges wird im Schienenbetrieb von einem kleinen Zwei-Rad-Führungsgestell auf der Schiene geführt, das direkt in die lenkbare Fahrzeugachse integriert ist. Die mit zwei Spurkränzen ausgerüsteten Räder werden über zwei Luftfedern mit ca.750 kg auf die Monoschiene gedrückt und greifen direkt auf sie zu. Bei Ausfall der Luftversorgung sorgt eine Cantileverfeder für den notwendigen Not-Anpressdruck von 300 kg. Das Anheben des Führungsgestells bei Straßenfahrt erfolgt hydraulisch.

Das Einspuren erfolgt mit einem einfachen Einführungstrichter. Auf geraden Strecken ist dazu eine maximale Trichter-Breite von 607 mm und in 12 m Kurven von 640 mm erforderlich. Die Einspurlänge beträgt ca. 6 m. Das Aus- und Eingleisen wird als schnell und einfach beschrieben. Die Ansteuerung des Führungstrichters erfolgt manuell durch den Fahrer.

Das Fahrzeug wurde von Bombardier mit der Bezeichnung -TVR- gefertigt und im Dezember 1996 fertiggestellt. Anschließend erfolgten auf einer Teststrecke in Belgien umfangreiche Erprobungen. Ein Serieneinsatz dieses Fahrzeugkonzepts ist für die französische Stadt Caen seit 1994 geplant. Die Bauarbeiten für die geplante Strecke werden sich jedoch weiter hinziehen, so dass der TVR frühestens im Jahre 2001 fahren kann.

Bewertung

Die zu verzeichnenden Vorteile des Systems sind:

- Alle Achsen sind geführt, man kann daher im Schienenbetrieb gekuppelt fahren.
- Die Führungsschiene kann im Straßenbelag eingebettet werden und damit problemlos von anderen Verkehrsteilnehmern gekreuzt werden.
- hohe Führungssicherheit bei allen Witterungslagen
- hohe Spurführungsgenauigkeit. Bei einer Fahrzeugbreite von 2,50 m macht sich eine Fahrbahnbreite von nur 2,60 m erforderlich.
- hohe Entgleissicherheit durch Zweirad-Führungsfahrgestell mit Spurrollen

Die Nachteile sind:

- hohe Infrastrukturkosten für Monogleis und Fahrbahn
- Viele mechanische Teile erfordern einen ständigen Aufwand an Wartung.
- Empfindlichkeit im Längsfahrverhalten selbst bei geringen Abweichungen der Gleislage der Monoschiene. Die direkte Übertragung der seitlichen Abweichungen der Gleislage auf die Fahrgestelle wurde im Rahmen der Entwicklungsarbeit bis heute wesentlich reduziert.
- hohe Geräusche der Führungsfahrgestelle im Fahrzeuginnenraum
- Keine Flexibilität, jede Fahrwegänderung ist mit erheblichen Baumaßnahmen und Investitionen verbunden.
- manuelle Ansteuerung des Führungstrichters
- viele Wartungs- und Verschleißteile durch die mechanischen Bauteile

Aus der Sicht der Führungs- und Entgleissicherheit sowie der Spurführungsgenauigkeit ist dieses System für den geplanten Einsatzfall sehr gut geeignet. Die Nachteile heben diese Vorteile jedoch wieder auf.

Seit Entwicklungsaufnahme des Fahrzeuges bis zum heutigen Zeitpunkt sind wesentlich günstigere Systeme zur Serienreife entwickelt worden, die den Stand der Technik bestimmen. Eine Anwendung ist deshalb nicht zu empfehlen.

Der Firma Lohr Industrie entwickelte 1993 den Translohr, eine Bus-Bahn ähnlich dem GLT/TVR mit mechanischer Spurführung (Quelle: Hondius, 1998). Bei diesem mechanischen Prinzip greifen, vor und hinter jeder Achse, dornartig angeordnete Spurführungsrollen hydraulisch unterstützt auf die Mittelschiene zu. Die Mittelschiene ist so gestaltet, dass die Spurführungsrollen in einem Winkel von 90°, V-förmig, auf die Mittelschiene zugreifen können. Dadurch ist nur eine vertikale Anpresskraft von 200 daN erforderlich. Die Führungsräder haben einen Durchmesser von 200 mm und werden hydraulisch abgesenkt bzw. angehoben. Ein Entgleisen scheint durch die beidseitige Umfassung der Führungsschiene nur durch Schienenbruch möglich zu sein.

Das Einspuren erfolgt in einfacher und sicherer Weise mit Hilfe eines Trichters ähnlich des GLT/TVR. Die Ansteuerung des Führungstrichters erfolgt ebenso manuell durch den Fahrer.

Das Fahrzeug kam bisher noch nicht zum Einsatz. Auf einer Teststrecke bei Paris soll das Fahrzeug erstmalig eingesetzt werden.

Bewertung:

Aus den bisher bekannten Testergebnissen kann geschlossen werden, dass die Vor- und Nachteile dem GLT/TVR sehr ähnlich sind. Aufschluss werden jedoch erst die Vergleichstests auf der Teststrecke bei Paris bringen, auf der beide Systeme unter gleichen Bedingungen verglichen werden.

Ein bedeutender Vorteil ist die außerordentlich hohe Entgleissicherheit auch bei höheren Geschwindigkeiten und der geringe Einfluss bei seitlichen Abweichungen der Gleislage.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass unter den Gesichtspunkten der geplanten Anwendungen und der Länge der Spurführungsstrecke von max. 200 m der Einsatz von oben ausgeführten mechanischen Prinzip nicht empfohlen werden kann.

In einem Beitrag von Henning v. Wedel wird 1998 das interessante dänische Projekt „RUF“ vorgestellt. „RUF“ bedeutet im dänischen „zügig“ und steht im Projekt für Rapid-Urban-Flexible, für ein bimodales Auto, das unter anderem automatisch auf einer Schiene rollt. Die Fahrzeugführung sowie der Antrieb erfolgt durch eine Schiene auf die vier Antriebs- und Führungsräder zugreifen. Dazu verfügt das Fahrzeug über eine V-förmige, etwa 60 cm tiefe Einkerbung an der Fahrzeugunterseite.

Der Anpressdruck der Räder auf die Schiene kann flexibel gehalten werden, dadurch wird eine erstklassige Beschleunigung auch bei schlechten Wetterverhältnissen ermöglicht.

Am Anfangs- und Endpunkt der Strecke verschwindet die Führungsschiene ähnlich wie eine Leitplanke in der Erde und erlaubt auf diese Weise die sichere Auf- und Abfahrt der Fahrzeuge.

Bewertung:

Das Prinzip hat die ähnlichen systembedingten Nachteile, wie sie bereits in den vorangegangenen Ausführungen beschrieben worden sind. Das sind unter anderem:

- hohe Flächenbedarf und Infrastrukturkosten für eine eigene Strecke
- keine Flexibilität, jede Fahrwegänderung ist mit erheblichen Baumaßnahmen verbunden
- viele mechanische Teile, die dem Verschleiß unterliegen und ständig gewartet werden müssen.

Die Vorteile sind wie bei allen schienengebundenen Systemen:

- gute Fahrdynamik
- ausgezeichnete Spurführung und damit für Geschwindigkeiten bis 400 km/h geeignet
- hohe Führungssicherheit bei allen Wetterlagen

Aufgrund der Nachteile sollte unter den Aspekten der konkreten Anwendungskriterien dieses System nicht weiter verfolgt werden. Es stellt keine optimale Variante dar und entspricht nicht dem Stand der Technik bezüglich der Spurerkennung / Spurführung.

3.1.2. Induktive Spurerkennung

Zu den bedeutendsten Spurerkennungs-/Spurführungssystemen gehört die aktive induktive, als Ein- oder Mehrfrequenzsystem, die lange Jahre die Hauptrolle gespielt hat. In beiden Fällen wird ein stromdurchflossener Leitdraht in den Boden verlegt. Dabei entsteht um den Draht herum ein elektromagnetisches Wechselfeld, das durch ein Spulensystem im Fahrzeug abgetastet wird. Die Höhe der in der Abtastspule entstehenden induzierten Spannung dient als Maß für den seitlichen Abstand der Abtastspule vom Leitdraht und damit zur Orientierung des Fahrzeugs nach rechts und links.

Ein- und Mehrfrequenzsysteme unterscheiden sich durch die Methoden zum Fahren und Abzweigungen. Beim Mehrfrequenzsystem führen unterschiedliche Frequenzen in die verschiedenen Richtungen, und das Fahrzeug schaltet den Empfänger auf die Frequenz der gewünschten Richtung.

Beim Einfrequenzsystem sind die Abzweigespuren im seitlichen Abstand zur Hauptspur verlegt. Das Fahrzeug hat Abtastspuren für Geradeausfahrt, Links- oder Rechtsabzweige und schaltet am Verzweigungspunkt je nach gewünschter Fahrtrichtung auf die passende Abtastspule.

Für die Längsorientierung dienen weitere Bodenelemente, die als aktive Istpositionsmelder oder über inkrementale Zählschritte funktionieren.

Eine kostengünstige Variante bei längeren Führungsstrecken ist die Metallbandtechnik. Dabei wird der in den Boden verlegte Leitdraht durch ein auf dem Boden verklebtes Metallband ersetzt. Der Abtastsensor liefert ein Analogsignal, dessen Stärke proportional zum seitlichen Abstand des Sensors vom Metallband ist. Abzweigungen werden ähnlich wie beim oben beschriebenen Einfrequenzsystem gesteuert. Auch für die Längsorientierung werden auf dem Boden aufgeklebte Metallbandstücke verwendet.

Bewertung:

Die induktive Spurführung ist auch heute noch eine der am häufigsten eingesetzten Lösungen aufgrund ihrer robusten, zuverlässigen und einfachen Ausführung. Die Beeinflussung durch Verschmutzung, Witterungseinflüsse und anderer Nebeneffekte ist fast ausgeschlossen. Das Anwendungsgebiet ist deshalb vorrangig der Außenbereich.

Auf diesem Gebiet hat sie wesentliche Vorteile gegenüber den neuen, moderneren Prinzipien.

Die hohe Führungsgenauigkeit und Zuverlässigkeit macht sie besonders geeignet für Einsatzfälle mit höchstem Sicherheitsanspruch wie er bei der Personenbeförderung erforderlich ist. So wird die Leitdrahtführung heute sogar bei einigen schnellfahrenden Personentransportern verwendet.

Induktive Spurerkennungs- und Spurführungssysteme haben ähnlich hervorragende Merkmale bezüglich der Führungssicherheit, Entgleissicherheit und Spurführungsgenauigkeit wie schienengebundene Fahrzeuge.

Vorteile des Systems sind:

- robuste, zuverlässige und einfache Ausführung
- keine mechanischen Bauteile und damit günstiges Verschleißverhalten
- durch einfachen gerätetechnischen Aufbau geringe Ausrüstungskosten
- keine Beeinflussung durch Witterung und Verschmutzung
- hohe Spurerkennungs- und Spurführungssicherheit
- hohe Spurführungsgenauigkeit (+/- 2 mm)

Der wesentlichste Nachteil der klassische elektronischen Spurführung am Leitdraht ist die mangelnde Flexibilität und die erforderlichen Bau- und Montageleistungen für die Verlegung der Leitdrähte, mit allen ihren negativen Begleiterscheinungen, wie Schmutz, Erschütterung und Lärm.

Nachteile des Systems sind:

- mangelnde Flexibilität
- hoher Investitionsaufwand bei längeren Strecken
- umfangreiche Montageleistungen bei der Verlegung des Leitdrahtes mit Lärm, Schmutz und Staub.

Die gestiegenen Anforderungen an die Flexibilität moderner Transportsysteme, wie sie insbesondere bei FTS (fahrerlose Transportsysteme) immer erforderlicher wurden, konnten mit diesem System nur noch ungenügend erfüllt werden. Das führte zur Entwicklung neuer Führungstechniken.

Schlussfolgerung:

Für alle Einsatzfälle bei denen die Flexibilität und die Bau- und Montageleistungen eine untergeordnete Bedeutung haben, ist der Einsatz der induktiven Spurführung mit ihren wesentlichen Vorteilen eine sehr interessante Variante. Unter Betrachtung der nachstehenden wichtigsten Einsatzkriterien und Aspekte ist die induktive Spurführung eine optimale Variante für den geplanten Einsatzfall.

- Die Personenbeförderung erfordert einen höchstmöglichen Sicherheitsstandard.
- Spurführungsgenauigkeit muss sehr hoch sein
- Einsatzgebiet ist der Außenbereich mit allen Witterungs- und Umwelteinflüssen

- Die Flexibilität des Systems spielt keine Rolle, da die eingerichtete Strecken über mehrer Jahre bestehen bleiben.
- Der Einfluss durch Bau- und Montageleistungen ist unbedeutend, da die Arbeiten im Außenbereich ausgeführt werden
- Der Investitionsaufwand für den Leitdraht ist gering, da das System für das automatische Einspuren und nicht für das automatische Fahren über eine längere Strecke zum Einsatz kommen soll. Die auszurüstende erforderliche Strecke ist damit auf ca. 200 m begrenzt.

Durch diese präzisierten Einsatzkriterien entfallen fast alle in der Bewertung aufgeführten Nachteile der induktiven Spurführung.

Nachstehend werden verschiedene neue Anwendungen in modernen Verkehrs- und Transportsystemen recherchiert.

In einem Artikel von Schwarz 1999 wird der Neoplan Gelenkbus N 6121 mit einer automatischen Spurführung auf induktiver Basis vorgestellt. Die Lenksignale werden von außen durch die in der Fahrbahn eingelegten Leiterschleifen/Leitdrähte übertragen und mittels Computer in Lenksignale für die Vorderachse umgewandelt. Dazu sind in der Fahrbahn, in ca. 2 - 3 cm Tiefe, eine elektrische Leitungsschleife/Leitdraht verlegt. Der Abstand der einzelnen Leiter beträgt ca. 300 mm. Im Betrieb wird diese Leitungsschleife mit Wechselstrom durchflossen. Dadurch baut sich ein präzises Magnetfeld auf. Die Spannungsversorgung des Leitdrahts erfolgt durch eine Frequenzerzeugungseinheit.

Bei der Ausführung für Lausanne muss für einen Streckenabschnitt von 1500 m Streckenlänge, das entspricht 3000 m Leitdrahtlänge, eine Universalfrequenzerzeugungseinheit montiert werden.

Der Leitdraht wird in einer langen Schleife verlegt. Die Leitdrahtenden werden dabei jeweils an eine Frequenzerzeugungseinheit angeschlossen. Längere Fahrstrecken können durch Aneinanderreihen mehrerer Schleifen realisiert werden. Durch eine Kürzung des Leitdrahtes kann jederzeit eine kürzere Spurführungsstrecke realisiert werden. An der Frequenzerzeugungseinheit können über Schalter acht verschiedene Standardfrequenzen, im Bereich von 5 - 25 kHz, ausgewählt werden. Mit diesen Frequenzen ist es möglich mehrere Leitdrähte exakt überdeckend zu realisieren um mehrere Linien / Kurse durch linienspezifische Frequenzen zu unterscheiden. So kann der Bus der Strecke nachfahren, dessen Frequenz er vorher eingestellt hat. Weichen, Abzweigungen und verschiedene Routen stellen somit kein Problem dar.

Ein Spurführungssensor, der vor der Vorderachse in der Mitte des Busses angebracht ist, tastet das Magnetfeld der Stromschiene ab. Die Signale vom Spurführungssensor werden über eine Universal-Frequenzauswertung, die im Fahrzeug installiert ist, ausgewertet und in Lenkbefehle umgesetzt. Es wird die horizontale Position des Sensors und damit die des Busses über der Mitte der Leitdrahtschleife bestimmt und der neu einzunehmende Lenkeinschlag der Vorderachse aufgrund der variablen und festen Werte berechnet. Das Fahrzeug wird spurgeführt und aktiv über eine Elektronik gelenkt.

Nach Ausschaltung der Spurführung kann sich das Fahrzeug im Verkehr frei bewegen, z.B. zum Ausweichen eines Hindernisses. Das anschließende Zurückkehren zur Spurführung/Leiterschleife erfolgt problemlos, da keine spezielle Einspurstelle erforderlich ist. Sobald sich der Spurführungssensor im Fangbereich der Signale des Leitdrahtes befindet, erfolgt eine Anzeige der Fahrposition gegenüber dem Leitdraht.

Bei der Ausführung für Lausanne erfolgt die Steuerung des Fahrzeuges bis zur Idealstellung genau über den Leitdraht manuell. Erst nach Erreichen dieser Stellung kann der Fahrer die automatische Spurführung aktivieren. Die Spurführung wurde zur Erprobung in das Fahrzeug für Lausanne/Schweiz eingebaut. Sie wird dabei für das exakte An- und Ausfahren von Haltestellen eingesetzt. Mit der Spurführung wird es dem Fahrer auch ermöglicht, in bestimmten vordefinierten Situationen, wie Tunneldurchfahrten, enge Brücken, Trassen mit hohen Geschwindigkeiten oder an Engstellen mit hoher Sicherheit zu fahren.

Bewertung:

Das Fahrzeug mit induktiver Spurführung hat sich im Testzeitraum bestens bewährt. Auf dieser Basis wurde eine weitere Bestellung von 28 Fahrzeugen ausgelöst.

Die vorgestellte induktive Spurführung am Fahrzeug NEOPLAN stellte eine interessante und zu beachtende Lösung für den geplanten Einsatzfall dar. Der zur Zeit noch bestehende manuelle Lenkbedarf bis zur Erreichung der Idealstellung zum Leitdraht sollte jedoch weiter automatisiert werden.

In der Werksschrift der Firma Götting KG Lehrte / Röddensen werden kurz die wesentlichen Merkmale der induktiven Spurführung und ihre gerätetechnische Ausführung und Eigenschaften dargestellt.

Mit induktiven Spurführungssystemen werden vor allem frei bewegliche fahrerlose Fahrzeuge entlang eines stromdurchflossenen Leitdrahtes geführt. Diese induktiven Verfahren haben den Vorteil, dass sie unempfindlich gegen Öl, Schmutz, Reifenabrieb usw. sind. Sie haben sich daher in Hafen- und Industrieanlagen auch heute noch gegenüber anderen Spurführungssystemen durchgesetzt. Leitfrequenz, Stromstärke sowie seitlicher Abstand und Höhe zum Leitdraht können über einen größeren Bereich variiert werden.

Einige Sensoren verfügen über einen Mikrorechner, der den Leistungsumfang und Komfort der Geräte wesentlich erhöht.

Die meisten Spurführungssysteme werden für den innerbetrieblichen Transport verwendet. Zunehmend werden aber auch Busse (ÖPNV) und Sonderfahrzeuge (Tunnelfahrten) mit induktiver Spurführung ausgerüstet. Bei Omnibussen ist es dadurch möglich, sehr lange Fahrzeuge mit einer Transportkapazität ähnlich einer Straßenbahn zum Einsatz zu bringen. Auch die Führungsgenauigkeit ist vergleichbar mit einer Straßenbahn, die es u.a. ermöglicht, an Bordsteine in Haltestellenbereichen mit einem Abstand von weniger als 50 mm heranzufahren.

Vorstellung einer typischen Systemvariante mit Leitdraht:

Das *System HG 895* der Firma Götting KG stellt eine typische Systemvariante mit Leitdrahtführung dar. Es ist eine in der Praxis vielfach eingesetzte Variante und besteht aus vier verschiedenen Komponenten. Zu jeder Komponente existieren mehrere Geräte, die entsprechend den Anforderungen kombiniert werden können.

Eine typische Kombination des *System HG 895* ist nachstehend ausgeführt.

- Generator HG 575
- Lenkantenne HG 19510
- Lenkregler HG 73000
- Bodenanlage ist vom Anwender zu erstellen.

Technische Daten des Systems:

- Leseabstand 30 – 150 mm (Abstand Leitdraht – Unterseite Leseantenne)
- Nennlesehöhe 60 mm
- Ausgabe über PC mit Terminalprogramm
- Auflösung 1 mm bei Nennlesehöhe
- Updaterate 5 ms
- Wiederkehrgenauigkeit +/- 1 mm
- Absolute Genauigkeit +/- 4 mm im Bereich bis +/- 50 mm von der Drahtmitte
 +/- 8 mm im Bereich über +/- 50 mm von der Drahtmitte

Funktionsbeschreibung des Systems:

- Der Generator speist in den im Boden verlegten Leitdraht einen Strom ein. Entlang des Leitdrahtes entsteht dadurch ein magnetisches Wechselfeld.
- Die Lenkantenne detektiert Feldlinienanteile in horizontaler und vertikaler Richtung. Der charakteristische Spannungsverlauf der vertikalen Feldlinienanteile (entspricht der Differenzspannung) gleicht einer Glockenkurve. Der Spannungsverlauf der vertikalen Feldlinienanteile zeigt in einem bestimmten Abstand links und rechts vom Draht ein positives und negatives Maximum und durchläuft direkt über dem Draht „Null“.
- Im Lenkregler werden die beiden o.g. Spannungen verstärkt, synchrongleichgerichtet und vom Prozessor gemessen. Der Prozessor ist durch einen speziellen Rechenalgorithmus in der Lage, den seitlichen Abstand vom Leitdraht unabhängig vom Drahtstrom zu ermitteln. Im Prozessor ist ein Regler mit PD-Verhalten implementiert. Optional kann eine zweite Lenkantenne an den Regler angeschlossen werden, um vorwärts und Rückwärtsfahrt zu ermöglichen. Die errechneten Stellgrößen (der errechnete Abstandswert) wird über die analoge Schnittstelle ausgegeben.

Einsatzbeispiele sind:

- Spurführung von KFZ für robuste Außenanwendung und großem Abstand von Draht und Antenne
- Spurführung eines FTF (fahrerloses Transportfahrzeug), in zwei Richtungen (vorwärts/rückwärts)
- Spurführung eines Staplers in zwei Richtungen

Bewertung:

Aus den Darstellungen der Werksschrift werden die bereits getroffenen Feststellungen zu den Vorteilen und Anwendungsgebieten der induktiven Spurführung weiter untersetzt. Die aufgeführte spezielle Gerätekonfiguration zeigt exemplarisch die erreichbare Genauigkeitsgüte auf. Die Ausführungen unterstreichen ausdrücklich die gute Eignung des Spurführungsprinzip für den geplanten Anwendungsfall.

3.2. Leitspurlos geführte Fahrzeuge

Die sich ständig durch innovative neue Technik verändernden Produktions- und Logistikprozesse erfordern eine permanente Anpassung der innerbetrieblichen Transportprozesse. Daraus resultierend wurden immer stärker Forderungen nach flexibler Fahrkursgestaltung der Transportfahrzeuge erhoben, die mit der starren induktiven Spurführung nicht mehr erfüllt werden konnten. Das führte letztlich zur beschleunigten Entwicklung und dem Einsatz von leitdrahtloser virtueller Spurführungen. Die Fahrtrouten dafür werden virtuell im Fahrzeugrechner hinterlegt, werden über Routeneditoren wie eine CAD-Zeichnung erstellt oder entstehen durch eine Lernfahrt mit dem Fahrzeug. Änderungen der Fahrtroute sind im wesentlichen durch editieren der Route oder durch eine Lernfahrt einfach durchführbar.

Die Lageerfassung eines virtuell geführten Fahrzeuges erfolgt grundsätzlich mittels einer dem jeweiligen Einsatzfall angepassten Kombination von Lagepeilung und Lagekopplung. Die Lagekopplung bestimmt dabei die Lage des Fahrzeuges zwischen zwei Peilvorgängen durch Integration interner Bewegungsgrößen, die durch Koppelsensorik (z.B. inkrementaler Weg- und Winkelaufnehmer an Rädern, Antriebs- und Lenkmotoren, aber auch ABS und ESP) erfasst werden. Der Vorgang wird als Koppelnavigation bezeichnet. Die Integration erfolgt, ausgehend von einem Startpunkt, in kleinen zeitlichen Intervallen.

Die Koppelnavigation ist durch eine Vielzahl von Faktoren prinzipbedingter Fehler behaftet (z.B. Schlupf zwischen Räder und Fahrbahn, Veränderung der Radumfänge usw.) und muss deshalb regelmäßig mittels Lagepeilung kontrolliert und korrigiert werden.

Bewertung:

Dieser Vorgang der Koppelnavigation ist ein prinzipiell kritischer Punkt bei der virtuellen Spurführung, da dadurch die Führungsgenauigkeit und die Sicherheit wesentlich beeinflusst wird. Zur Erzielung einer hohen Führungsgüte ist deshalb eine aufwendige und hochwertige Koppelsensorik einzusetzen, die sehr hohe Kosten verursacht.

3.2.1. Leitspurlos mit künstlichen Ortsmarken

Bei den leitspurlos mit künstlichen Ortsmarken geführten Techniken unterscheidet man zwischen *Magnet- und Lasernavigation*. Die Magnetnavigation unterteilt sich weiter in die Verwendung von passiven oder aktiven Bodenmagneten (Transponder). Das Lasernavigationsverfahren unterscheidet sich nach dem Verfahren der Positionsbestimmung in Triangulationsmessung oder Laser-Radar-Technik.

3.2.1.1. Magnetnavigation

Bei der Magnetnavigation sind entlang der Fahrspur Magnete in den Boden eingelassen. Die Fahrtrouten sind virtuell im Fahrzeugrechner gespeichert. Mit den im Fahrzeug installierten Magnetsensor erfolgt an den Magnetpunkten eine Standortbestimmung. Für die Bestimmung außerhalb dieser Punkte sind Zusatzinformationen erforderlich, die mittels der im Fahrzeug installierten odometrischen Ausrüstung (Erfassung des Weges und des Lenkwinkel) und des Kreiselkompasses gewonnen werden. Der Magnetabstand kann bis zu 50 m betragen und ist abhängig von der geforderten seitlichen Spurgenauigkeit.

Die Odometrielemente und der Kreiselkompass führen das Fahrzeug entlang der virtuellen Fahrspur, wobei die Odometrielemente den gefahrenen Weg und den Lenkwinkel erfassen und der Kreiselkompass die relativen Drehbewegungen des Fahrzeugs anzeigt. Ungenauigkeiten und Toleranzen in der Messwerterfassung und der Lenkgeometrie des Fahrzeugs führen zu Abweichungen der realen Fahrtroute von der virtuellen Fahrspur. Diese Abweichungen werden beim Überfahren der Bodenmagnete durch den Magnetsensor erfasst. Die reale Fahrtroute wird korrigiert und die Fahrspur des Fahrzeugs wieder auf die virtuelle Fahrspur zurückgeführt. Die Bodenmagnete dienen somit als Referenzpunkte.

Die Referenzpunkte sind fortlaufend nummeriert und damit ihre Lage und Bezeichnung eindeutig zugeordnet. Der Unterschied zwischen den passiven und aktiven Bodenmagneten ist dadurch gekennzeichnet, dass bei Verwendung passiver Bodenmagnete der Fahrzeugrechner aufgrund der gespeicherten Reihenfolge die Bezeichnung der Bodenmagnete erkennt, während bei Verwendung von aktiven Bodenmagneten, der Transponder, diese ihre Bezeichnung gespeichert haben und bei Überfahrt an das Fahrzeug melden.

Bewertung:

Die Vorteile der Magnetnavigation sind:

- Unempfindlich gegenüber Witterungs- und Umwelteinflüssen ähnlich der induktiven Spurführung
- Welliges Gelände und Bodenunebenheiten beeinflussen das System nicht.
- Robuste und zuverlässige Ausführung
- Freie flexible Fahrkursgestaltung mit geringem Installationsaufwand für die Magneten
- Der Installationsaufwand kann bei geringen Anforderungen an die Erkennungs- und Fahrgenauigkeit reduziert werden.
- Die Erkennung und Führung in weitläufigen Gelände/Hallen erfolgt problemlos.

Die Nachteile sind:

- Prinzipbedingte Abweichungen durch erforderliche Koppelnavigation
- Geringere Genauigkeit der Fahrspurführung zwischen den einzelnen Magnetpunkten gegenüber der Leitdrahtführung

Der Einsatz der Magnetnavigation erfolgt vor allem bei geforderter flexibler Fahrkursgestaltung in weitläufigen Anlagen/Hallen, ohne festen Orientierungspunkten, mit erhöhten Witterungs- und Umwelteinflüssen. Ein typischer Anwendungsfall ist der Einsatz in Hafenanlagen, sowie in FTS (fahrerlose Transportsysteme) in verrauchter staubiger Umgebung wie sie in Stahlwerken gegeben ist aber auch in schienengebundenen Fahrzeugen zur Positionserfassung.

Schlussfolgerung:

Für den geplanten Einsatzfall ist dieses System nicht in die engere Wahl einzubeziehen, da die erforderlichen Genauigkeits- und Sicherheitsanforderungen nur bedingt erfüllt werden bzw. nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erreicht werden können. Der Vorteil des Systems, die relativ flexible Fahrwegänderung, ist für den Einsatzfall mit seinen feststehenden Einspurstellen mit ca. 200 m nicht relevant.

Nachstehend werden verschiedene neue Anwendungen in modernen Verkehrs- und Transportsystemen recherchiert.

Ein FTS entsorgt die Pressen im Opel-Werk Bochum (Quelle: Göddert/Manias, 1997). Datenfunkkommunikation zwischen Leitstand und Fahrzeugen erhöhen die Zuverlässigkeit der Transporte und senken die Kosten. Es wird die leitdrahtlose Fahrzeugführung mit Magnetnavigation eingesetzt und beschrieben. Der Einsatz von leitdrahtgeführten FTS wurde nicht realisiert, da der Aufwand für das Verlegen von Leitdrähten sehr hoch gewesen wäre und die geforderte Flexibilität nicht gegeben ist.

Bei dieser Art der leitdrahtlosen Fahrzeugführung orientieren sich die FTF an Permanentmagneten, die entlang der vorgesehenen Fahrstrecken im Abstand von max. 25 Meter in den Boden eingelassen sind. Technisch ist ein doppelter Abstand der Magneten möglich, jedoch verringert sich dadurch die Genauigkeit der Spurführung. Trotzdem bietet das System eine äußerst preiswerte und sehr flexible Lösung, die sich jederzeit mit wenig Aufwand erweitern lässt.

Bewertung:

Der Beitrag zeigt deutlich die Vorteile des Systems auf, die in der flexiblen Gestaltung der Fahrstrecken und dem geringen Bau- und Montageaufwand liegen. Beide Vorteile sind für den geplanten Einsatzfall nicht von entscheidender Bedeutung. Das System weist damit keine Vorteile gegenüber der herkömmlichen induktiven Spurführung auf.

3.2.1.2. Lasernavigation

Die Lasernavigation ist eine moderne zukunftssträngige virtuelle Version der Spurführung. Für die Lasernavigation kommt ein Lasersensor mit umlaufendem Laserstrahl und Reflektoren an Wänden, Säulen oder ähnlichem zum Einsatz. Der Lasersensor sendet einen Laserstrahl aus, der über einen umlaufenden Spiegel abgelenkt wird. Die jeweilige Winkelposition des umlaufenden Spiegels wird gemessen. Ein auf einen Reflektor treffender Laserstrahl wird mit hoher Intensität zum aussendenden Lasersensor zurückgeworfen. Die zu diesem Zeitpunkt gemessene Winkelposition des Umlenkspiegels zeigt an, in welcher Richtung, vom Sensor aus gesehen, der Reflektor angebracht ist.

Bei den meisten in der Praxis vorhandenen Fahrtstrecken kommt es zu Detektionslücken, so dass diese durch Koppelnavigation überbrückt werden müssen. Laser-Scanner sind außerordentlich empfindlich gegenüber Witterungs- und Umwelteinflüssen und sind deshalb nur für den Inneneinsatz geeignet.

Für den Einsatz im Außenbereich ist die Unterstützung durch Radar oder andere Sensoren erforderlich. Der Vorteil des Laser-Radar ist die Unempfindlichkeit gegenüber Witterungseinflüssen, wie z.B. Schnee und Regen. Eine Positionsbestimmung mit Laser-Radar ist bereits bei Erkennen von nur zwei Reflektoren, vorübergehend sogar von nur einem möglich.

Bewertung:

Das Laserscannersystem ermöglicht eine sehr flexible Fahrzeugführung. Anhand von Reflexmarken kann das Fahrzeug je nach Programmierung autonom geführt werden. In Verbindung mit hinderniserkennenden Sensoren (z.B. Radar, Ultraschall) ist es möglich, beim Auftauchen eines Hindernisses das Fahrzeug über alternative Wege zum Ziel zu führen. Entsprechend der technischen Ausstattung des System kann die Position des Fahrzeugs mit einer hohen Messrate ständig geprüft werden. Die Positioniergenauigkeit (typisch +/- 20 mm) ist dabei so hoch, dass höhere Anforderungen erfüllt werden können. Für eine genaue Führung auch bei höheren Geschwindigkeiten macht sich der Einsatz eines Wegimpulsgebers erforderlich.

Aufgrund ihrer Empfindlichkeit sind Laserscanner nur im Innenbereich einsetzbar. Mit dem Einsatz von Radarsensoren kann dieser Nachteil teilweise kompensiert werden. Neben der flexiblen Fahrkursgestaltung ist vor allem der geringe Montage und Installationsaufwand hervorzuheben. Der Aufwand an technischer Ausrüstung im Fahrzeug ist im Verhältnis zu anderen Systemen relativ hoch. Die Führungsqualität erreicht nicht die Genauigkeit und Sicherheit der induktiven Spurführung. Interessante Einsatzgebiete sind in staubempfindlichen Produktionsbereichen Serviceroboter, Gabelstaplern usw., aber vor allem auch weitläufige Fahrkurse auf denen nur wenige Fahrzeuge verkehren.

Schlussfolgerung:

Die Lasernavigation ist modernes innovatives Verfahren das den neuesten Stand der Technik mitbestimmt. Für den geplanten Einsatzfall ist es aber auch nicht für die engere Auswahl vorzusehen, da die wesentlichen Vorteile für die Anwendung nicht relevant sind. Des weiteren entspricht die Spurführungsgenauigkeit nicht den Werten der induktiven Spurführung.

3.2.2. Leitspurfrei mit natürlichen Landmarken

Diese Verfahren kommen ohne zusätzliche Einrichtungen aus, orientieren sich frei im Raum und sind damit allumfassend flexibel. Damit ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Sie stellen die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Spurführung dar.

3.2.2.1. Optische Spurführung mit Kamera

Die optische Spurführung mit Kamera zählt zu den innovativsten Führungstechniken und befindet sich zur Zeit auf breiter Ebene in der Entwicklung. Das gilt sowohl für die fahrerlosen Transportsysteme, aber auch besonders für die Fahrzeugindustrie. Im Regelfall werden durch eine Kamera natürliche Kennmarken (dazu zählen auch die Leitlinien auf der Straße) erfasst und mit Hilfe eines Multiprozessorsystems ausgewertet, angezeigt und als spezifische Kenngrößen an die Stellglieder ausgegeben. So wurde z.B. in der Fahrzeugindustrie, im Rahmen des Forschungsprojekt „Prometheus, ein Forschungsfahrzeug mit zehn Videokameras vorgestellt, dass bereits alle erforderlichen Funktionen automatisch realisieren kann. Das betrifft sowohl die Lagebestimmung, als auch solche Vorgänge wie bremsen, lenken und beschleunigen.

Bewertung:

Die Vorteile des innovativen Systems liegen vor allem in der vollständig unabhängigen, flexiblen Gestaltung des Fahrtweges. Es sind keine Infrastrukturmaßnahmen erforderlich. Die Nachteile liegen vor allem in der nicht ausreichenden Zuverlässigkeit und Spurführungsgenauigkeit.

Nachstehend werden verschiedene neue Anwendungen in modernen Verkehrs- und Transportsystemen recherchiert.

In der Nahverkehrspraxis 3/2000 stellt R. Schreiber den CIVIS, eine in Entwicklung befindliche Bus-Bahn mit optischer Spurführung, vor. Die Spurführung und Spurführung erfolgt beim CIVIS durch das optische Führungssystem VISEE und soll bis zu einer Geschwindigkeit von 70 km/h eingesetzt werden können. Dieses System befindet sich zur Zeit noch im Versuchsstadium.

Voraussetzung für die Spurführung ist eine deutliche Spurführung durch eine Fahrbahnmarkierung. Eine Kamera registriert diese Informationen von der Fahrbahn und gibt sie zur Verarbeitung an den Rechner weiter. Im Rechner wird die Abweichung von der vorgegebenen Ideallinie ermittelt und der Korrekturbefehl an die automatische Lenkung des Fahrzeugs ausgegeben. Die seitlichen Toleranzen der erforderlichen Verkehrsfläche liegen ca.15 % über dem mechanischen Systemen von TVR und Translohr und der induktiven Spurführung.

Für das optische Führungssystem sind keine infrastrukturelle Maßnahmen wie bei den mechanischen und induktiven Systemen erforderlich. Damit ist der CIVIS noch flexibler einsetzbar. Seitens der Entwickler wird eingeräumt, dass Umwelteinflüsse, Schnee und Regen zur Beeinflussung des Systems und zum Ausfall führen kann. Gleichzeitig wird festgestellt, dass die Genauigkeit der Spurführung den anderen Systemen nicht gleichgestellt ist.

Bewertung:

Die dargestellte Lösung ist für den Einsatzfall nicht anwendbar, da die erforderliche Spurführungsgenauigkeit und Zuverlässigkeit bei den unterschiedlichen Witterungsbedingungen nicht gegeben ist.

Zur Betrachtung der Fahrdynamik als Gesamtverhalten des Systems Fahrer-Fahrzeug-Umwelt wird in einem Beitrag von A. Yap (VDI Fortschrittberichte Nr. 398) ein Ansatz vorgestellt, in welchem die optische Wahrnehmung der Umgebung mathematisch formuliert wird. Es wird ein dreidimensionales Umgebungsmodell entwickelt und die Verarbeitung der Information von der Wahrnehmung bis zu den Fahrerreaktionen in einem modularen Fahrermodell dargestellt. Die Grundlagen dafür werden aus den Ergebnissen von Fahrsimulatorversuchen abgeleitet. Ergänzt wird die Darstellung durch ein Modell des Gesamtsystems und den Vergleich von Simulationen mit Messergebnissen aus den Fahrsimulatorversuchen.

Eine direkte Anwendung des entwickelten Gütekriteriums wäre der Aufbau eines autonomen Fahrzeugs. Allerdings steht diesem Vorhaben der Umfang des technischen Aufwands einer Bildverarbeitung entgegen. In der Realität ist der Aufwand sehr hoch, um ein Sichtfeld zu berechnen, welches die Anwendung der Fahrspurführung erlaubt. Darüber hinaus ist der Algorithmus der Optimierung ebenfalls mit großem Rechenaufwand verbunden. Sind diese Einschränkungen möglicherweise noch tragbar, so ist die Flexibilität des menschlichen Auges heute noch nicht mit einer Kamera erreicht. So sind schlechtes Wetter oder extremes Gegenlicht heute noch nicht vollständig beherrschbar. Eine Umsetzung der Ergebnisse scheitert deshalb an den augenblicklichen technischen Randbedingungen.

Bei den bisher eingesetzten Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen sind einfachere Vorgehensweisen zu finden, wie z.B. die Erkennung von Fahrbahnmarkierungen und der Verwendung einer mittleren Linie als Fahrspur.

Bewertung:

Der Vorteil liegt in der unabhängigen flexiblen Festlegung der Fahrtroute und ihrer Erkennung.

Die Nachteile sind vor allem

- ungenügende Spurführungsgenauigkeit
- Führungssicherheit ist durch Zuverlässigkeit der aufwendigen technischen Ausrüstung stark beeinflusst
- hohe Empfindlichkeit gegenüber Witterungs- und Umwelteinflüssen
- hoher technischer Aufwand für die Fahrzeugausrüstung

Das vorgestellte System stellt eine der innovativsten Lösungen dar, sie entspricht aber nicht den gestellten Anforderungen an den geplanten Einsatzfall. Für ein millimetergenaues Einspuren und der erforderlichen Sicherheit für die Personenbeförderung ist die Lösung zur Zeit noch nicht einsetzbar.

Der größte Teil der Verkehrsunfälle ist auf menschliches Versagen zurückzuführen. Aus dieser Kenntnis heraus wird versucht, den Menschen durch autonomes Fahren und Rechnersehen aus dem Prozess der Fahrzeugführung herauszulösen. Dazu wurde das 4-D-Verfahren zur Auswertung von Bildfolgen in Echtzeit entwickelt. In einem Beitrag von Müller in den VDI-Berichten Nr. 281 wird dieses Verfahren vorgestellt, mit dem der Verlauf der Straße sowie andere Verkehrsteilnehmer erkannt werden. Damit ist das autonome Fahren auf Autobahnen möglich. Um auch autonom auf Straßen niedriger Ordnung zu fahren, müssen Manöver auf engem Raum beherrscht werden, z.B. das Abbiegen auf eine Querstraße. Diese Fähigkeit wurde im Rahmen dieser Arbeit entwickelt. Ein Navigator setzt diese Fähigkeit zum Erreichen eines gewünschten Zieles ein. Die Positionsbestimmung wurde durch den Einbau eines GPS-Empfängers erweitert. Bis zur Einsatzfähigkeit im öffentlichen Straßenverkehr, wo Vorfahrtsregeln und andere Verkehrsteilnehmer beachtet werden müssen und deutliche Sichtbeschränkungen auftreten, ist noch ein weiter Weg zu gehen.

Bewertung:

Die zur Zeit noch vorhandenen systembedingten Nachteile wie Zuverlässigkeit und Genauigkeit gewährleisten keine sichere Spurführung und Personenbeförderung. Die dargestellte Lösung ist damit ebenso wie die vorangegangene für den geplanten Einsatzfall nicht anwendbar.

J. Görgler stellt im Busmagazin 4/2000 die Bus-Assistenzsysteme von DaimlerChrysler vor, die ab ca. 2001 zum Einsatz kommen können.

Unaufmerksamkeiten des Fahrers führen immer wieder zu schweren Unfällen. Mit dem System „Spurassistent“ soll das Verlassen der Fahrbahn/Fahrtrichtung verhindert und die Fahrspurtreue gewährleistet werden. Herzstück des „Spurassistenten“ ist eine kleine Kamera. Sie erfasst den unmittelbar vor dem Fahrzeug liegenden Fahrbahnbereich. Der Bildbetrachter ist ein Hochleistungsrechner, der aus dem, was er sieht die Position des Fahrzeuges innerhalb der Fahrspur erkennen und berechnen kann. Seine Orientierungspunkte sind dabei die Fahrbahnmarkierungen. Aus der Fahrzeuggeschwindigkeit und der erkannten Position relativ zur Spurmarkierung wird permanent errechnet, ob eine Tendenz zum unbeabsichtigten Verlassen der Spur besteht. Ist diese Gefahr vorhanden und wird eine Zeitreserve unterschritten, greift der Warner mit einem unüberhörbaren „Nagelbandrattern“ ein, ähnlich dem Überfahren der Markierungsnägel im kritischen Baustellenbereich. Erkennt der Computer eine Gefahr in Richtung rechter Spurmarkierung, lässt er es aus dem rechten Lautsprecher rattern. Erfolgt eine Abweichung nach links, so kommt das Signal aus dem linken Lautsprecher.

Nach Erkenntnissen der DaimlerChrysler-Forschung lenkt jeder Fahrer bei dieser richtungsorientierten Warnung sein Fahrzeug automatisch, also ohne Zeitverlust, zurück zur Spurmitte. Das System funktioniert, bei einwandfreier Fahrbahnmarkierung, völlig problemlos.

Auswertung:

Die Ausführungen zeigen, dass eine optische Spurführung mit entsprechenden Hilfsmitteln wie, z.B. Leitlinien, in bestimmten Einsatzfällen gute Erfolge zeigen. Bei Witterungseinflüssen (Schnee usw.) versagen auch diese. Die Spurführungsgenauigkeit ist für den geplanten Anwendungsfall unzureichend.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die optische Spurführung noch in der Entwicklung befindet und die zur Zeit erreichbaren Ergebnisse nicht für sicherheitsrelevante Einsatzfälle ausreichen.

3.2.2.2. Global Positioning System (GPS)

Mit dem GPS ist eine Spurerkennung prinzipiell möglich. Eine Spurführungsgenauigkeit von wenigen Millimeter für einen Einspurvorgang übersteigt die derzeitigen Möglichkeiten des Systems, die mit vertretbarem Aufwand erreichbar sind. Die Aufzählung erfolgte aus Gründen der Vollständigkeit.

4. Auswertung

4.1. Rahmenbedingungen für Anforderungen an ein Spurerkennungssystem für Zweiwegefahrzeuge

Die Rahmenbedingungen für die Anforderungen an ein Spurerkennungssystem sind wie folgt beschrieben :

- Das bimodale Fahrzeug ist gekennzeichnet als Fahrzeug, das sowohl im Straßenverkehr als auch auf Eisenbahngleisen fahren kann.
- Das Fahrzeug wird zur Personenbeförderung eingesetzt und setzt damit hohe sicherheitstechnische Maßstäbe.
- Die Spurerkennung/Spurführung dient beim Wechsel des Fahrweges Straße/ Schiene / Straße zum problemlosen Aufgleisen. Die Spurführung im Gleis wird durch die bekannten Eisenbahnratsätze oder ähnlichem übernommen, die auf der Schiene zwangsgeführt werden.
- Die Spurführungslänge ist begrenzt auf die erforderliche Strecke für das Aufgleisen (max. 200 Meter).
- Die Aufgleisstellen (Spurerkennung und -führung) sind fest fixiert und werden über einen längeren Zeitraum (Jahre) nicht verändert.
- Die Aufgleisstellen sind der freien Witterung und den Umwelteinflüssen ausgesetzt.
- Die Aufgleisstellen befinden sich an einem frei zugänglichen Ort.

4.2. Anforderungskriterien

Aus den unter 4.1. genannten Rahmenbedingungen ergeben sich folgende Anforderungen:

- einsetzbar im Außenbereich
- beständig gegen Witterungseinflüsse (Wind, Regen, Schnee)
- Beständig gegen Umwelteinflüsse (SO₂)
- Unempfindlich gegen Störstrahlung
- Keine Aussendung von unzulässigen elektromagnetischen Wellen
- Sicherheit gegen Vandalismus
- Hohe Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit
- Hohe Sicherheit des Systems
- Unkomplizierte Handhabung
- Hohe Erkennungs- und Regelgenauigkeit
- Minimale Abweichung von der Spur
- Einmannbedienung, automatischer Systemablauf
- Minimale Infrastrukturkosten

Das Kriterium „Flexibilität“ wird nicht in die Bewertung einbezogen, da es sich um eine über längeren Zeitraum unveränderliche Einspurstrecke handelt und damit die Flexibilität kein relevantes Entscheidungskriterium darstellt.

4.3. Bewertungskriterien

Bei den Bewertungskriterien wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur auf die wesentlichsten, entscheidenden Kriterien zurückgegriffen. Diese wurden bereits zum Teil bei der punktweisen Bewertung angewandt. Das sind:

- Außeneinsatz
- Umgebungseinfluss (Schmutz)
- Zuverlässigkeit / Sicherheit
- Kosten der Installation der Infrastruktur für max. 200 Meter
- Wartungsaufwand
- Kosten Ausrüstung
- Typische erreichbare Genauigkeit

4.4. Bewertung von Spurführungssystemen

Für die Bewertung wird folgende Kennzeichnung vorgenommen:

- ++ sehr gut
- + gut
- 0 mittel
- schlecht
- sehr schlecht

Bewertung der Spurführungssysteme entsprechend der genannten Kriterien

System	Kontinuierliche Linienführung			Referenzmarke (Virtuelle Linien)		Gesamte Fläche		
	Mechan. Systeme	Leitdraht	Metallband	Optische Marken	Transponder (Magnet)	Laser-scanner	DGPS Realtime) Kinematic	Bildverarbeitung
							-	
Außenbereich	++	++	0	-	+	-	+	0
Umgebungsschmutz	+	++	++	-	++	-	++	+
Zuverlässigkeit	+	++	+	+	+	+	+	-
Kosten- Infrastruktur	-	0	0	++	++	++	++	++
Wartungsaufwand	0	++	++	+	+	+	+	+
Kosten Ausrüstung	0	+	+	0	0	0	--	--
Genauigkeit(+/- mm)	- 30	++ 2	0 3-20	0 3-10	0 3-20	0 20	-- 50	-- 50

Unter den konkreten Bewertungskriterien konnte im Vergleich mit allen Systemen die induktive Spurführung viermal mit „sehr gut“ bewertet werden. Damit stellt sie das System mit der höchsten Bewertung dar.

4.5. Ergebnis

Entsprechend den Rahmenbedingungen und den Bewertungskriterien konnte als optimale Variante der Spurführungs- und Spurerkennungssysteme zum automatischen Aufgleisen von Zweiwegefahrzeugen das induktive Prinzip mit Leitdraht ermittelt werden. Das Ergebnis steht in Übereinstimmung mit dem nach wie vor anhaltenden Trend, die induktive Spurführung in der Praxis vorrangig anzuwenden, wenn keine Flexibilität gefordert wird. Das Prinzip der induktiven Spurführung hat sich über viele Jahre bestens bewährt. Ausschlaggebend dafür waren besonders der einfache, robuste Aufbau sowie die ausgezeichneten Sicherheits- und Gütekriterien, die vergleichbar mit schienengebundenen Spurführungen sind. Die Kosten für die Gestaltung der Infrastruktur halten sich gering, da nur am jeweiligen Aufgleispunkt wenige Meter Leitdraht installiert werden müssen. Die ungenügende Flexibilität, ein kritisches Merkmal bei vielen Anwendungen in der Industrie, kann in diesem Einsatzfall unberücksichtigt bleiben.

5. Zusammenfassung

Für das Einspuren eines bimodalen Fahrzeuges waren die Möglichkeiten der Spurerkennung und Spurführung, entsprechend den Ausführungen im Arbeitspunkt 1 zu untersuchen. In den ersten Arbeitsschritten wurden dazu die Aspekte und Kriterien für die geplante Anwendung präzisiert. Diese Kriterien bildeten die Grundlage für die spätere Diskussion und Bewertung der einzelnen Systeme. Da es sich im Einsatzfall um eine Personenbeförderung handelt, wurden die nachfolgenden Kriterien am höchsten gewichtet:

- Führungsgenauigkeit
- Führungssicherheit
- keine Beeinflussung durch Witterungs- und Umwelteinflüsse
- Zuverlässigkeit
- einfache, robuste Ausführung

Die Kriterien Flexibilität und Gestaltung der Infrastruktur wurden mit einer geringen Wichtung versehen. Entsprechend der Präzisierung der Anwendung bleiben die fixierten Einspurstellen über einen längeren Zeitpunkt unverändert bestehen. Somit ist eine Bewertung des Kriteriums „Flexibilität“ für den Einsatzfall nicht relevant.

Die Bewertung des Kriteriums „Gestaltung der Infrastruktur“ besitzt eine geringe Bedeutung, da die geplante Spurerkennungs-/Spurführungsstrecke nur maximal 200 m lang ist.

Ausgehend von einer umfangreichen Recherche in Fachzeitschriften und Fachbüchern wurden die bekannten und teilweise noch in Entwicklung befindlichen Systeme analysiert und bewertet. Eine grundlegende Einteilung erfolgte nach den Führungsprinzipien in leitspurgeführte Systeme und leitspurlos geführte Fahrzeuge.

Typische Vertreter für die leitspurgeführten Systeme sind die mechanische Spurerkennung sowie die induktive Spurerkennung. Anhand der Systemeigenschaften und einschlägiger Fachartikel wurden die charakteristischen Merkmale herausgestellt und bewertet. Dabei ist erkenntlich, dass die mechanische Spurerkennung nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. Die induktive Spurerkennung hingegen bestimmt nach wie vor den Stand der Technik mit ihren herausragenden Eigenschaften mit. Das sind

- Spurführungsgenauigkeit
- Spurführungssicherheit
- Unempfindlich gegenüber Witterungs- und Umwelteinflüssen
- Robuster und einfacher Aufbau

Die negativen Merkmale sind mangelnde Flexibilität und hohe Infrastrukturkosten bei größeren Führungsstrecken. Besonders ausführlich wurde auf die Spurerkennung eines Omnibusses eingegangen, der in Lausanne zur Erprobung eingesetzt wurde und der die in ihn gesetzten Erwartungen voll erfüllt hat.

Als typische Vertreter der leitspurlos, virtuell geführten Systeme wurden analysiert

- Magnetnavigation
- Lasernavigation
- Optische Spurführung mittels Kamera

Die leitspurlosen Systeme besitzen ein hohes Maß an Flexibilität bei geringen Infrastrukturkosten und gelangen vor allem in solchen Fällen zum Einsatz, bei denen in kürzeren Zeiträumen die Führungstrecken verändert werden. Die Magnetnavigation stellt dabei eine sehr robuste und zuverlässige Variante dar, die bestens für den Einsatz in weitläufigen Gelände und Hallen geeignet ist.

Die Lasernavigation ist eine moderne zukunftssträchtige Version der Spurerkennung, die mit natürlichen Erkennungsmerkmalen arbeitet und damit keine Infrastrukturmaßnahmen erfordert. Die technische Ausrüstung im Fahrzeug ist relativ hoch. Die Lasernavigation kann jedoch im Zuge der Spurerkennung gleichzeitig eine Sicherheitsüberprüfung durchführen und erkennen, ob sich Personen oder Gegenstände im Bereich des Fahrweges befinden. Der Einsatz in der Praxis erfolgt in den vielfältigsten Bereichen.

Die optische Spurerkennung gilt als eines der innovativsten Systeme und wird mit großer Intensität weiter entwickelt. Die optische Spurerkennung mit Leitlinien (z.B. Mittellinie auf Straßen), wird in verschiedenen Projekten bereits eingesetzt. Besonders die Fahrzeugindustrie setzt in diese Technik große Erwartungen zur Erhöhung der Fahrsicherheit mit ihren Assistenzsystemen. Lösungen mit sogenannten „Spurassistenten“ zum automatischen Fahren auf Autobahnen wurden der Öffentlichkeit bereits vorgestellt. Die Führungsgenauigkeit erreicht jedoch noch nicht die Ergebnisse anderer Systeme. Ein wesentlicher Nachteil stellt weiterhin die Empfindlichkeit gegenüber Witterungseinflüssen dar. Die optische Spurerkennung mit natürlichen Marken wie z. B. Gebäude, Bäume etc. befinden sich in der Entwicklung. Die erreichten Güte- und Sicherheitsmerkmale ermöglichen noch keinen Einsatz im sicherheitsrelevanten Bereich.

Die Bus-Bahn-Entwicklung „CIVIS“ stellt einen interessanten Einsatzfall der Spurerkennung mittels Kamera dar und wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht.

Weiterhin wurden zwei theoretische Ausarbeitungen zum „autonomen Manövrieren und Navigieren mit einem sehenden Straßenfahrzeug“ analysiert, die deutlich den erreichten Entwicklungsstand und die Probleme aufzeigen.

In der abschließenden Auswertung wurden die Anforderungen an ein Spurerkennungssystem für Zweiradfahrzeuge nochmals beschrieben und die Anforderungskriterien fixiert. Mit den schwerpunktmäßig ausgewählten Bewertungskriterien erfolgte die tabellarische Darstellung und Bewertung. Im Ergebnis der Bewertung konnte für die induktive Spurführung, im Vergleich mit allen dargestellten Systemen, die höchste Bewertungszahl ermittelt werden. Die induktive Spurerkennung/Spurführung mittels Leitdraht stellt damit für den geplanten konkreten Einsatzfall die optimale Variante dar.

B Untersuchung zur Steuerung von Lenkachsen für die Spurführung von Zweibegefahrzeugen

Ein weiteres wesentliches Kriterium für den Fahrwegwechsel ist die Steuerung der Lenkachse mit Hilfe der aus der Spurerkennung gewonnenen Signale. Dazu wurden die Möglichkeiten verschiedener Lenksysteme untersucht und einer Bewertung unterzogen.

1. Allgemeine Anforderungen an Lenkanlagen im Nutzfahrzeug und Kraftomnibus

Moderne Nutzfahrzeuge/Kraftomnibusse (KOM) müssen in immer stärkerem Maße den Forderungen nach Wirtschaftlichkeit, Umweltschutz, Gesetzgebung und dem speziellen Anwendungsfall entsprechen. Die zunehmende Verkehrsdichte sowie die modernen Stadtplanungskonzepte erfordern zunehmend Nutzfahrzeuge/ Kraftomnibusse (KOM) mit großer Lade- bzw. Passagierkapazität und einer hohen Manövrierfähigkeit, um die Innenstädte besser erschließen zu können.

Diesen Erfordernissen Rechnung tragend wurde die Länge der Kraftomnibusse (KOM) von 12 m, entsprechend § 32 Punkt 3 der StVZO, mit der 44. Ausnahmeverordnung im Oktober 1996 auf 15,00 m vergrößert. Diese Veränderung gilt jedoch nur für Kraftomnibusse, die mindestens drei Achsen haben. Die Ausführung von Omnibussen mit einer Gesamtlänge von 15,00 m konnte mit den bisher bekannten und angewandten Lenkprinzipien die Forderungen des § 32d der StVZO bezüglich der Kurvenlaufeigenschaften nur ungenügend erfüllen. Erst die Entwicklung von neuen Lenkungstechniken führte in den letzten beiden Jahren zu einem sprunghaften Anstieg der langen Fahrzeuge. Fast alle namhaften Kraftomnibushersteller präsentierten seitdem auf den einschlägigen Nutzfahrzeug-Ausstellungen derartige Fahrzeuge mit innovativen Lenkeinrichtungen aus eigener Produktion bzw. von namhaften Zulieferern.

2. Einteilung der Lenkungsarten

Die Lenkung der Straßenfahrzeuge erfolgt grundsätzlich an der Vorderachse, einschließlich der doppelten Vorderachse.

Bei dreiachsigen Fahrzeugen sind die Vorlauf- bzw. Nachlaufachsen zum größten Teil gelenkt. Dabei unterscheidet man zwischen passiver Lenkung (Adhäsionslenkung) und aktiver Lenkung. Die Steuerung der aktiven Lenkung erfolgt von der Vorderachse aus. Bei gleichzeitigem Einsatz einer Hinterachslenkung ist jedoch auch eine mechanische Zwanglenkung von dieser aus möglich. Die Hinterachse kann entsprechend den Erfordernissen gelenkt ausgeführt sein. Die Steuerung geht dabei in jedem Fall von der Vorderachse aus.

Die gleichzeitige Lenkung aller am Fahrzeug vorhandener Achsen (Vorder- und Hinterachsen) charakterisiert die Allradlenkung. Eine spezielle Sonderausführung stellt die Lenkung des Gliederteils der Gelenkbusse dar.

Für die Realisierung von BUS-Bahnen werden Sonderlenkanlagen zur Spurführung eingesetzt. Dazu werden spezielle Vorderachslenkungen verwendet, die durch Steuereinrichtungen/Steuersignale von außen beeinflusst werden.

3. Lenkprinzipien Einsatz

Für die Erkennung der Entwicklungstendenzen und der Schwerpunkte beim Einsatz innovativer Lenkungsprinzipien wurden umfangreiche Datenermittlungen in Fachbüchern, Zeitschriften und Werksschriften durchgeführt, deren Ergebnis im folgenden dargestellt wird.

3.1. Vorderachslenkung

3.1.1. Mechanische Lenkung

Die Lenkung der Räder an der Vorderachse erfolgt heute noch grundsätzlich nach dem mechanischen Prinzip. Diese Ausschließlichkeit geht aus den Forderungen der StVZO nach Sicherheit unter allen möglichen Fahrzuständen hervor.

Entsprechend den erforderlichen hohen Stellkräften ist die entsprechend StVZO geforderte Leichtgängigkeit nicht gegeben und wird deshalb nur im Zusammenhang mit einer hydraulischen Lenkkraftunterstützung eingesetzt.

3.1.2. Mechanisch-hydraulische Lenkung

Zur Erleichterung der Lenkbetätigung erfolgt bei der mechanischen Lenkung die Kraftübertragung in fast allen Fällen auf hydraulischem Wege. Bei Ausfall des Hydrauliksystems ist die Lenkbarkeit mit erhöhtem Kraftaufwand gewährleistet und die Forderung der StVZO § 38, erfüllt.

Die mechanisch-hydraulische Lenkung wird an fast allen Nutzfahrzeugen/ Omnibussen seit vielen Jahren mit Erfolg eingesetzt und verkörpert auch heute noch den Stand der Technik.

3.1.3. Hydraulische Lenkung

Die hydraulischen Lenkungen arbeiten gleichzeitig als Lenkbetätigung und Lenkhilfe. Mit dem Lenkrad wird die Richtung und die Menge des Flüssigkeitsstromes direkt gewählt und gesteuert (z. B. Danfoss-Orbitrol). Bei Ausfall des Hydrauliksystems sind auch hier Notlenkeigenschaften erforderlich und gegeben. Die Vorteile dieser Lenkung liegen im problemlosen Überbrücken von größeren Entfernungen zwischen den einzelnen Bauteilen.

Bei Einsatz des Danfoss-Lenkorbitrol besteht die Möglichkeit, gleichzeitig die Hinterachse problemlos zu lenken und zur Allradlenkung auszubauen. Dabei sind mittels eines zusätzlichen Lenkarten-Vorwahlventils vier verschiedene Lenkvarianten möglich:

- Vorderachse
- Hinterachse
- Rundgang
- Hundegang (Schrägfahrt).

Die Nachteile wie relativ ungenaue Lenkgenauigkeit, niedriger Wirkungsgrad und geringer Kontakt zur Fahrbahn beschränken das Einsatzspektrum vor allem auf langsam fahrende Fahrzeuge.

Das Haupteinsatzgebiet sind damit Baumaschinen sowie ihnen artverwandte Geräte und damit für das zu untersuchende Einsatzgebiet nicht relevant. In den weiteren Betrachtungen wird deshalb kein weiterer Bezug auf dieses Lenksystem genommen.

3.1.4. Elektro-hydraulische Lenkung

In den Entwicklungsabteilungen der Hersteller wird heute intensiv an elektrohydraulischen und elektrisch unterstützten Lenkanlagen gearbeitet, um Platz, Masse und Kraftstoff einzusparen. Besonders in der PKW-Industrie gibt es erfolgversprechende Ansätze und Lösungen, wie z. B. das Rack-Drive-Electric-Power-Steering-System von TRW oder das Electrically-Powered-Hydraulik-Steering von Opel. Diese Ergebnisse sind jedoch nur bedingt auf Nutzfahrzeuge anwendbar, da die erforderlichen Lenk- und Unterstützungskräfte für LKW/Omnibusse wesentlich höher sind.

Im der nachfolgend dargestellten Kurzfassung eines Konferenzberichts „Moderne Lenksysteme für zukünftige Anforderungen“, anlässlich der Tagung -Mechatronik- im März 2000, werden die Entwicklungstendenzen und die damit im Zusammenhang stehenden Probleme dargestellt.

Zur Zeit stellt die Automobilindustrie bei Servolenkungen von Hydrauliksystemen auf elektrische Servolenksysteme um, da diese im Kraftstoffverbrauch und der Logistik Erfolge versprechen. Im VDI-Bericht 1533 wird dazu ein Bericht veröffentlicht. Diese Systeme werden die Märkte sehr rasch erobern. Neue Verfahren, unter dem Stichwort ‚Steer-by-wire‘ bekannt, versprechen noch radikalere Veränderungen. Hier stellt der Verzicht auf die konventionelle Lenksäule eine besondere Herausforderung an Konstruktion und Sicherheit in der Praxis dar.

Elektronisch gesteuerte Lenksysteme bringen Vorteile durch Erhöhung der passiven Sicherheit der Personen, und sie bieten die Chance zur aktiven Verbesserung der Sicherheit durch elektronische Steuerungsfunktionen in Verbindung mit Fahrmodussensoren. Ferner bieten sie ein hohes Maß an konstruktiver Freiheit bezüglich Anordnung und Konstruktion der Komponenten im Motorraum, eine Vereinfachung der Montage, ein hohes Maß an Flexibilität, bezogen auf Lenkungsparameter, wie z. B. Lenkungsübersetzung in Abhängigkeit von den Softwarefunktionen. Auch vorstellbar sind Funktionen wie externe Lenkungssteuerung, z. B. durch Verkehrsleitsysteme der Zukunft. Charakteristische Merkmale solcher elektronisch gesteuerten ‚Steer-by-wire‘-Systeme sind die Trennung der Verbindung zwischen Lenkrad und Achse, die Schnittstelle des Lenksystems für interne und externe Lenkbefehle und die Überwachung der Lenkbefehle bezüglich ihrer Verträglichkeit mit den verschiedenen Fahrfunktionen. Das Kernelement dieses geteilten Lenksystems besteht in einer funktionalen Trennung zwischen dem Lenkgefühl des Fahrers (analog zum Orientierungssinn) einschließlich der Rückkopplung des Fahrmodus an den Fahrer einerseits und aktive Steuerung der Lenkungsbetätigung am Lenkrad andererseits.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bestehen noch gesetzliche Beschränkungen für solche Systeme, und die Gesetzgebung wird sich nur im Zuge der Entwicklung zuverlässiger und sicherer Gesamtkonzepte und Systeme verändern. Die Sicherheitskonzepte müssen bestehende Normen berücksichtigen und anwenden, wie sie beispielsweise in der Luftfahrt existieren.

Für die Nutzfahrzeuge und KOM gibt es Lösungsansätze und Funktionsmuster für elektro-hydraulische Lenkanlagen, die in Funktion und grundsätzlichem Aufbau von den Hinterachslenkanlagen abgeleitet und im Punkt 4.2.3. detailliert beschrieben sind.

Im Rahmen eines Projektes zur künftigen Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen für Stadtlinienbusse wird eine innovative Detaillösung durch Einsatz eines verschleißfreien Magnetsensors für die „by-wire-Lenkung“ vorgestellt. Dabei kann die komplette Lenkmechanik entfallen und das Lenkrad ist damit variabel verstell- und schwenkbar. Der berührungslos mit Ferriten arbeitende, hochauflösende Lenkwinkelsensor, vom FER Fahrzeugelektrik Eisenach, enthält bereits die komplette Auswerteelektronik, die ihre Signale über mehrere Schnittstellen weiterleitet. Ein Bordrechner berechnet tempoabhängig den funktionalen Zusammenhang zwischen Lenkradstellung, Fahrzeuggeschwindigkeit und dem daraus resultierenden Radeinschlag. Mit ihren zwei unabhängigen Messwerten erfüllen die Sensoren auch die für sicherheitskritische Anwendung erforderliche Redundanz im Winkelbereich. Der Einsatz des Sensors erfolgt zur Zeit an Hinterachslenkungen von namhaften Fahrzeugherstellern.

Voraussetzung für die Anwendung dieser neuen Systeme an der Vorderachse ist eine Sicherheitsphilosophie, die grundsätzlich von einem redundanten elektronischen und hydraulischen System ausgeht, damit Systemfehler erkannt und die entsprechenden Sicherheitsreaktionen eingeleitet werden können.

Eine allgemeine Betriebserlaubnis liegt für dieses Lenkprinzip an der Vorderachse aus Sicherheitsgründen noch nicht vor.

3.1.5. Sonderlenkung der Vorderachse zur Spurführung

Aus der Literatur sind verschiedene Systeme für die Spurführung bei Bus-Bahnen bekannt. Diese bisher realisierten basieren alle auf der Basis der mechanischen Beeinflussung der Lenkung. Entwicklungen für eine elektrisch/elektronische Lenkung in Bus-Bahnen laufen in den Projekten von Berkhof (Phileas), Irisbus (CIVIS) und Neoplan (N 6141).

Eine interessante Variante der elektro-hydraulische Hinterachslenkung (EHLA) stellt die Firma Neoplan als Vorderachslenkung vor. Bei dieser Variante kommen die Lenksignale im Gegensatz zur Hinterachslenkanlage nicht ausschließlich von Lenkwinkelgebern, Abstandssensoren, manuellen Bedienungseinrichtungen usw., wie sie bisher im Fahrzeug angeordnet waren, sondern zusätzlich von außen, durch in die Fahrbahn eingelegte Leitdrähte. In Gefahrensituationen kann der Fahrer jederzeit in die Lenkung eingreifen, die dann als konventionelle Lenkanlage (mechanisch-hydraulisch) weiter arbeitet. Die Firma Neoplan setzt diese Ausführung im Fahrzeug N 6121 in Lausanne zur Erprobung einer begrenzten Spurführung im Haltestellenbereich ein.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen laufen bei Mercedes-Chrysler Arbeiten zur Realisierung von elektrisch/elektronischen Lenkanlagen, mit deren Hilfe eine Fahrzeuglenkung über Joystick erfolgen kann.

3.2. Hinter-, Vorlauf- Nachlaufachslenkung

Die aktive Lenkung der Räder an Hinter-, Vorlauf- und Nachlaufachsen erfolgt im Sinne des Themas durch Zwangslenkung von der Vorderachse aus.

Die passive (selbstlenkende) Lenkung der Vor- und Nachlaufachsen, die durch Reibung mit Arretierungszyylinder und Schlingerdämpfer gesteuert werden, sind nicht Bestandteil dieser Betrachtung.

Die Hauptziele der Lenkung bestehen in der Erhöhung der Manövrierfähigkeit, Verringerung des Wendekreises und Verringerung des Reifenverschleißes durch optimale kinematische Voraussetzungen. Des weiteren bietet sie den zusätzlichen Vorteil des sofortigen Seitenkraftaufbaus und führt dadurch zu einer Erhöhung der Fahrstabilität und Fahrsicherheit.

3.2.1. Mechanische Steuerung

Die mechanische Steuerung wird in Nutzfahrzeugen/Omnibussen nicht eingesetzt, da die Stellkräfte zu hoch sind. Gleichzeitig ist es kompliziert, die Ausführung des Hebelsystems zur Steuerung in das Fahrzeug zu integrieren. Deshalb werden mechanische Steuerungen nur im Zusammenhang mit hydraulischer Kraftübertragung eingesetzt.

Der Einsatz von mechanischen Steuerungen erfolgt vereinzelt noch bei Sattelaufliegern. Aber auch hier hat sich der Einsatz der mechanisch-hydraulischen Steuerung durchgesetzt. Das Steuersignal bei Sattelaufliegern wird anstelle der Vorderachse an der Sattelplatte mit Hilfe eines Lenkkeiles erzeugt.

3.2.2. Mechanisch-hydraulische Steuerung

Die mechanisch-hydraulische Steuerung besteht aus einer mechanischen Verbindung zwischen Lenkrad und Rad und einer hydrostatischen Lenkkraftübertragung. Dieses System kommt heute noch an vielen Straßenfahrzeugen zum Einsatz. Ein typischer Vertreter dafür ist die ZF-Servocom-Hinterachslenkanlage der Zahnradfabrik Friedrichshafen AG. Die Lenkanlage wird für Nach- und Vorlaufachslenkung bei Lkw und Omnibus eingesetzt. Sie basiert auf der Standard-Vorderachslenkung, bestehend aus ZF-Servocom (Kugelmutter-Hydrolenkung) mit mechanischer Verbindung vom Lenkrad zum Rad.

Die Hinterachse wird mit dem hydraulischen Potential der Vorderachse mitgelenkt. Die Übertragung der Lenkenergie von Vorder- auf Hinterachse erfolgt nach dem hydrostatischen Prinzip, bestehend aus einem Geberzylinder an der Vorderachse sowie einem Nehmerzylinder an der Hinterachse. Geber- und Nehmerzylinder sind bezüglich

Hubvolumen so abgestimmt, dass das vom Geberzylinder verdrängte Ölvolumen vom Nehmerzylinder aufgenommen wird und somit eine Auslenkung der Achse bewirkt.

Die hydrostatische Verbindung kann mit einem hydraulischen Zuschaltventil aufgebaut bzw. unterbrochen werden. Das Zuschaltventil wird elektrisch angesteuert. Eine Zuschaltung der Hinterachse erfolgt in Geradeausfahrtstellung der Vorderachse, um eine exakte Lenkkinematik zu erhalten.

Beim Überschreiten der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen zulässigen Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h wird die hydrostatische Übertragung unterbrochen, die Hinterachse hydraulisch zentriert und mechanisch blockiert. Dann wird das Fahrzeug ausschließlich über die Vorderachslenkanlage gesteuert. Nach Unterschreiten der zulässigen Geschwindigkeit erfolgt automatisch die Zuschaltung der Hinterachslenkanlage. Die Rückstellung der Hinterachse (Zentriervorgang) beim Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit erfolgt gedämpft mittels eines permanent speicherdruckbeaufschlagten Zentrierzylinders.

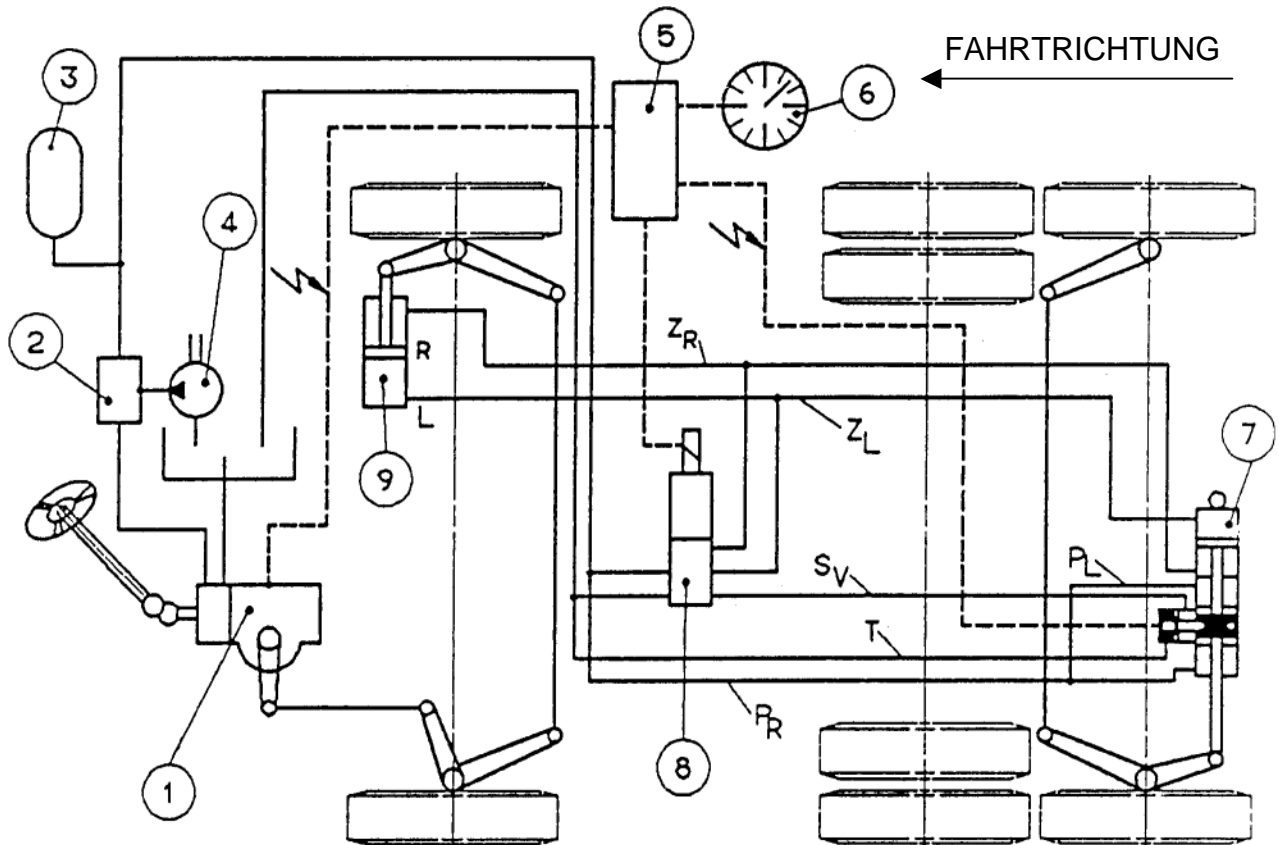
Vorteile:

- Verbesserung der Fahrzeugwendigkeit durch Reduzierung von Spur- und Wendekreis
- Verringerung des Reifenverschleißes bei Fahrzeugen mit mehreren Hinterachsen durch Einsatz von Lenkachsen
- Aktive Anlenkung von Nach- und Vorlaufachsen auch bei Rückwärtsfahrt
- Automatische Synchronisation bei Geradeausfahrt

Nachteile:

Die mechanisch-hydraulische Lenkung benötigt ein mechanisch von der Vorderachse ausgelöstes Steuersignal, um den Geberzylinder anzusteuern. Damit ist eine direkte Abhängigkeit, eine Zwangssteuerung, zur Vorderachse gegeben. Damit sind keine variablen Lenkzustände realisierbar. Das bezieht sich sowohl auf die permanente geschwindigkeitsabhängige Lenkung als auch auf verschiedene Lenkprogramme.

Prinzipskizze der ZF-Servocom-Hinterachsenanlage



Zeichenerklärung

- 1 ZF-Servocom Typ 8998, Kugelmutter-Hydraulenkung mit angebautem Schalter für Geradeausfahrt
- 2 Speicher-Ladventil
- 3 Hydro-Druckspeicher
- 4 Druckölpumpe
- 5 Elektrische Steuerung
- 6 Tachometer
- 7 Zentrierzylinder mit integriertem Schalter für Geradeausfahrt
- 8 Hydraulisches Zuschaltventil
- 9 Geberzylinder
- $Z_L + Z_R$ Leitungen vom Geberzylinder
- $P_L + P_R$ Leitungen vom Hydro-Druckspeicher
- SV Steuerleitung vom hydraulischen Zuschaltventil
- T Tankleitung

3.2.3. Elektro-hydraulische Steuerung

Die Zulassung von Omnibussen mit einer Gesamtlänge von 15,00 m machte die Entwicklung von neuen Lenksystemen dringend erforderlich, mit denen eine Wendigkeit wie mit einem 12,00 m langen Fahrzeug realisierbar ist. Heute bieten alle führenden Fahrzeughersteller wie auch Komponentenhersteller eine derartige Lenkung an. Hervorzuheben sind dabei die Firmen NEOPLAN mit „EHLA“ und ZF Friedrichshafen mit ZF-Servocom RAS-EC.

Die elektrisch-hydraulische Lenkung stellt auf dem Gebiet der zugelassenen und realisierten Lenkungen den höchsten Stand der Technik dar. Alle führenden Lenkungshersteller bieten diese Lenkanlagen in ihrem Fertigungsprogramm an. Die elektro-hydraulische Lenkanlagen werden wie folgt beschrieben:

Mit dem Lenksystem EHLA (elektro-hydraulische Lenkanlage) (Neoplan Werksschrift 1997) wurde eine zukunftsweisende, optimale Lenkanlage für mehrachsige gelenkte Fahrzeuge entwickelt. Mit der EHLA steht unter anderem die 15-m-Megaklasse in puncto Wendigkeit und Sicherheit den 12-m-Fahrzeugen in nichts nach. Bei der EHLA wird die Lenkanlage nicht von mechanisch-hydraulischen Teilen bestimmt, sondern von modernster Elektronik. Die Steuerimpulse kommen dabei von einem Computer und nicht wie allgemein üblich von einer Schubstange oder verdrängtem Öl. Durch die EHLA ist es möglich, unterschiedliche Lenkstrategien entsprechend dem Einsatzgebiet (Stadtstraßen, Landstraßen, Autobahn) optimal auszuwählen und anzupassen. Folgende grundsätzliche Lenkstrategien kommen zum Einsatz:

- Lenkstrategie 1 – Starre Antriebsachse

Starre Antriebsachse mit selbstlenkender Nachlaufachse

Bei dieser Ausführung handelt es sich um das hinlänglich bekannte und seit Jahrzehnten bewährte dreiachsige Lenksystem. Der Einsatz erfolgt bis zu einer Fahrzeug-Gesamtlänge von 13,7 m.

- Lenkstrategie 2 – Elektro-hydraulische Hinterachslenkung-EHLA Standard

Elektro-hydraulisch gelenkte Antriebsachse mit adhäsionsgelenkter Nachlaufachse

Der wesentliche Unterschied zur Lenkstrategie 3 (EHLA-Optimal) besteht im Einsatz der starren Antriebsachse mit 4-Balg-Aufhängung oder der bewährten Fahrschemel-lagerung. Bei dieser Ausführung wird die 3. Achse aktiv jeder Fahrsituation angepasst gelenkt. Die elektronischen Steuerungs- und Regelkompositionen wurden beibehalten, das bedeutet: kundenspezifische Haltestellenautomatik, geschwindigkeitsabhängige Lenkwinkelregelung, Mitlenkung der dritten Achse bei Rückwärtsfahrt. Durch die unverfälschte elektro-hydraulische Verbindung zwischen Vorder-, Hinter- und Nachlaufachse ist jede Rückkopplung ausgeschlossen. Zusätzliche Lenkkräfte bezüglich der Nachlaufachse werden gänzlich vermieden. Die Fehlerdiagnose ist computergestützt.

Aufgrund von verschiedenen Signalkombinationen können unterschiedliche Lenkstrategien programmiert werden. So z. B. erkennt die Elektronik bei Tempo 0 km/h und offener Tür – man befindet sich in einer Haltestelle, und die Nachlaufachse lenkt erst nach Verlassen der Haltestelle entsprechend der Lenkinematik wieder mit. Damit wird erreicht, dass das Fahrzeugheck nicht zu weit in den Haltestellenbereich ausschwenkt.

- Lenkstrategie 3 – EHLA Optimal

Elektro-hydraulische gelenkte Antriebs- und Nachlaufachse

Die Lenkung der beiden Achsen (Antriebsachse und Nachlaufachse) ermöglicht eine maximale Wendigkeit und Sicherheit im innerstädtischen Bereich. Die elektrohydraulische Ansteuerung erfolgt auf Antriebs- und Nachlaufachse. Entsprechend des Lenkeinschlages der Achse 1 (Vorderachse) erhalten Antriebs- und Nachlaufachse einen Steuerbefehl. Die Achsen werden dann über einen Hydraulikzylinder in die gewünschte Stellung gebracht und mittels Winkelgeber überwacht.

Diese Lenkstrategie stellt ein wegweisendes Sicherheitskonzept dar. Trotz höherer Manövrierfähigkeit muss der Fahrer keine zusätzlichen Lenkkräfte für das Lenken der Hinter- und Nachlaufachse aufbringen. Beim Rückwärtsfahren lenken alle Achsen mit und radieren nicht auf der Straße. Durch den elektronisch verzögerten Hinterachsenlenkeinschlag der Antriebs- und Nachlaufachse wird ein extremes Ausschwenken des Hecks im Haltestellen-, Gegenbahn- oder Mehrspurbereich im Stadtverkehr verhindert. Das vom Gesetzgeber vorgeschriebene maximale Ausschermmaß für Gelenkzüge von 1,20 m wird wesentlich unterschritten. Beim 15 m langen Niederflerbus N 4020 kann die Antriebsachse bis zu 5° und die Nachlaufachse bis zu 25° hydraulisch gelenkt werden. Wie weit die Achsen im Fahrbetrieb einschlagen, wird durch den Computer gesteuert. Dieser enthält 39 Einstellparameter, die in bestimmten Kombinationen zueinander verändert werden können. Sollte sich der Einsatz des Busses ändern, können Funktionen gelöscht und neu eingegeben werden.

- Lenkstrategie 4 – EHLA für Zweiachs-Fahrzeuge

Elektrohydraulisch gelenkte Hinterachse ohne Nachlaufachse

Die Lenkung erfolgt im Prinzip wie bei der EHLA-Optimal. Die Hinterachse wird aktiv gelenkt und ermöglicht durch die 4-Rad-Lenkung Radstände von 5300 mm bis 8300 mm bei minimalem, gleichbleibendem Spurbereich. Die Radführung und -aufhängung erfolgt mittels Doppelquerlenker.

Mit dem elektronisch gesteuerten Super-Lenk-Programm sind die unterschiedlichsten Lenkprogramme möglich, mit denen selbst stark differierende Kreisflächen und enge Kurven am Wendekreis befahren werden können. Als Besonderheit ist sogar das seitlich diagonale fahren möglich. Damit ist ein elegantes An- und Ausfahren aus einer Haltebucht möglich.

Die ZF-Servocom RAS-EC (Rear Axle Steering – Electronically Controlled) ist als elektronisch gesteuertes Lenksystem zu verstehen, das bis zur aktiven Hinterachsenlenkung erweiterbar ist (Quelle: Werksschrift Zahnradfabrik Friedrichshafen AG 1999). Die ZF RAS-EC eignet sich besonders für Nutzfahrzeuge, LKW und Kraftomnibusse, mit sehr großem Radstand, mehreren Hinterachsen, gelenkten Starrachsen, sowohl angetriebenen als auch nicht angetriebenen Achsen.

Merkmale:

Die ZF-Servocom RAS-EC ist eine Hinterachslenkung, die die Lenkbewegung der Vorderachse elektro-hydraulisch auf die zu lenkende Hinterachse überträgt. Die Übertragung erfolgt mittels Steuerventil (Proportionalventil) und Arbeitszylinder an die Hinterachse. Entsprechend der Sicherheitsphilosophie ist ein redundantes elektronisches und hydraulisches System ausgeführt.

Eine elektronische Steuerung bildet zusammen mit Drehwinkelgebern an Vorder- und Hinterachse einen Regelkreis der bewirkt, dass die Hinterachse ständig auf den vorgegeben Sollwert nachgeführt wird. Die Funktion der Vorderachslenkung ist unabhängig von der Hinterachslenkung. Eine Verbindung zwischen Vorderachslenkung und RAS-EC besteht nur über die elektrische Leitung zwischen Steuerung und Drehwinkelgeber der Vorderachse. Der Drehwinkelgeber der Vorderachse ist mechanisch mit dem Lenkgestänge der Vorderachse verbunden oder direkt an das Lenkgetriebe angebaut. Der Drehwinkelgeber übermittelt der Steuerung den aktuellen Lenkwinkel der Vorderachse, mit dem die Steuerung den vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Soll-Lenkwinkel der Hinterachse ermittelt und den Lenkeinschlag steuert.

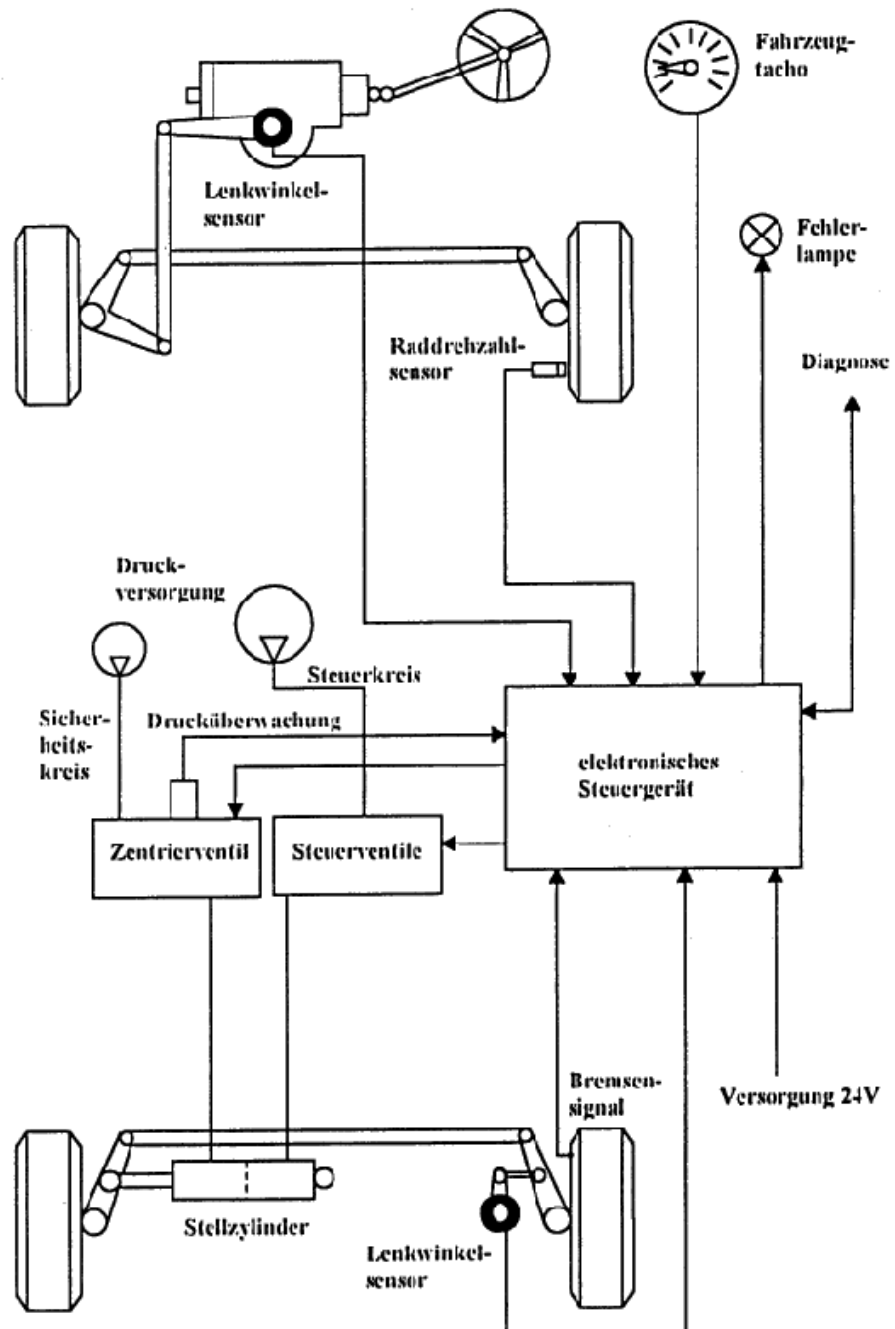
Die elektronische Steuerung des Hinterachslenksystems ist mit einer Diagnose-schnittstelle ausgerüstet. Erkannte Fehler werden im Speicher abgelegt und können zur Fehlersuche ausgelesen werden.

Vorteile:

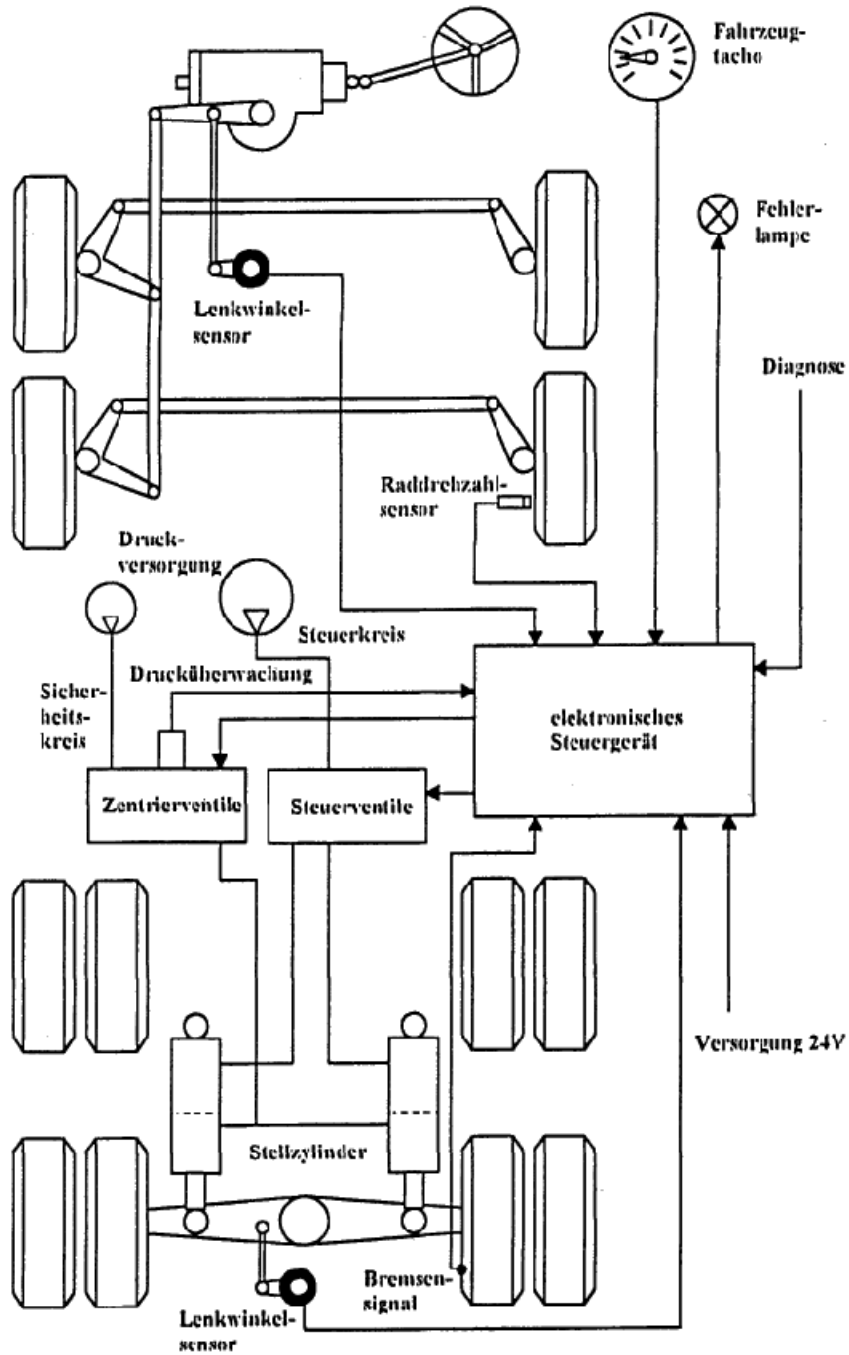
- Optimale kinematische Voraussetzungen reduzieren den Reifenverschleiß und erhöhen die Traktion an dieser Achse
- Die Zwangslenkung der Hinterachse führt zum sofortigen Seitenkraftaufbau und zur Erhöhung der Fahrzeugstabilität und Fahrsicherheit
- Es ist keine mechanische Verbindung zwischen Vorderachse und Hinterachse erforderlich
- Die Möglichkeit der flexiblen Programmierung der elektronischen Steuerung ergibt eine problemlose Anpassung an veränderte geometrische Größen (Radstand, Lenkwinkel) oder an ein besonderes Einsatzprofil des Fahrzeuges. Eine Änderung von mechanischen Übertragungsteilen ist nicht erforderlich.
- Mit der elektronischen Steuerung kann der Lenkwinkel an der Hinterachse in Abhängigkeit beliebiger Fahrparameter bestellt werden. So kann z. B. durch gegensinniges Lenken im niedrigen Geschwindigkeitsbereich die maximale Wendigkeit erreicht werden. Gleichsinniges Lenken bei mittleren und höheren Geschwindigkeiten führt zu einem exakten Geradeauslauf und einer Stabilisierung des Fahrzeugs beim Spurwechsel.
- Sonderlenkprogramme, wie z. B. Heckausschwenkminimierung oder konstante gleichsinnige Übersetzung im niederen Geschwindigkeitsbereich sind problemlos realisierbar.
- Die Möglichkeit, viele Signale zu verarbeiten wie z.B. Bremse, Türkontakt und andere Schalter, in Verbindung mit Geschwindigkeit, Lenkwinkel vorn usw. ergibt eine Vielzahl von Sonderfunktionen, die kundenspezifisch zu definieren sind.

Prinzipbilder der ZF-Servocvom RAS-EC:

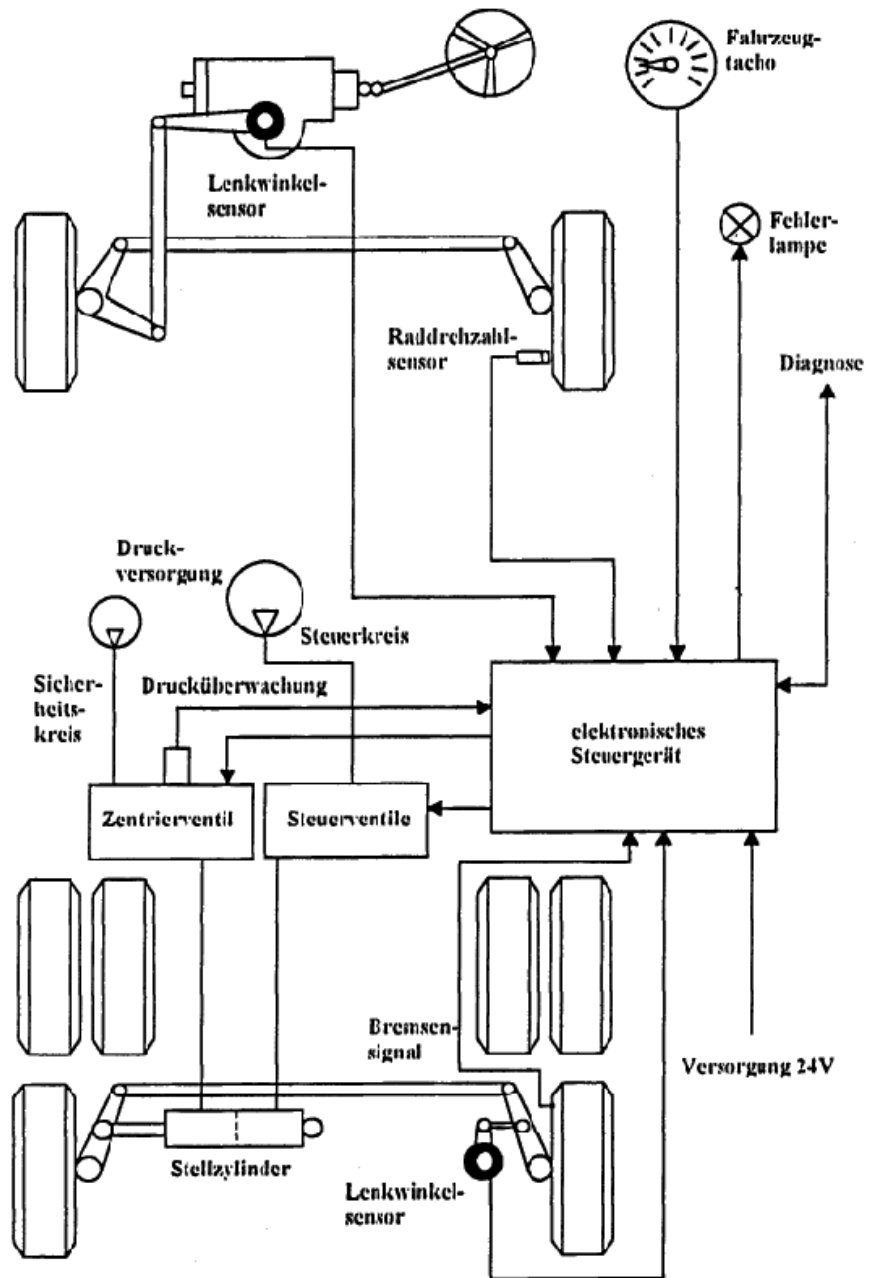
Prinzipbild für Fahrzeug 4x2x4



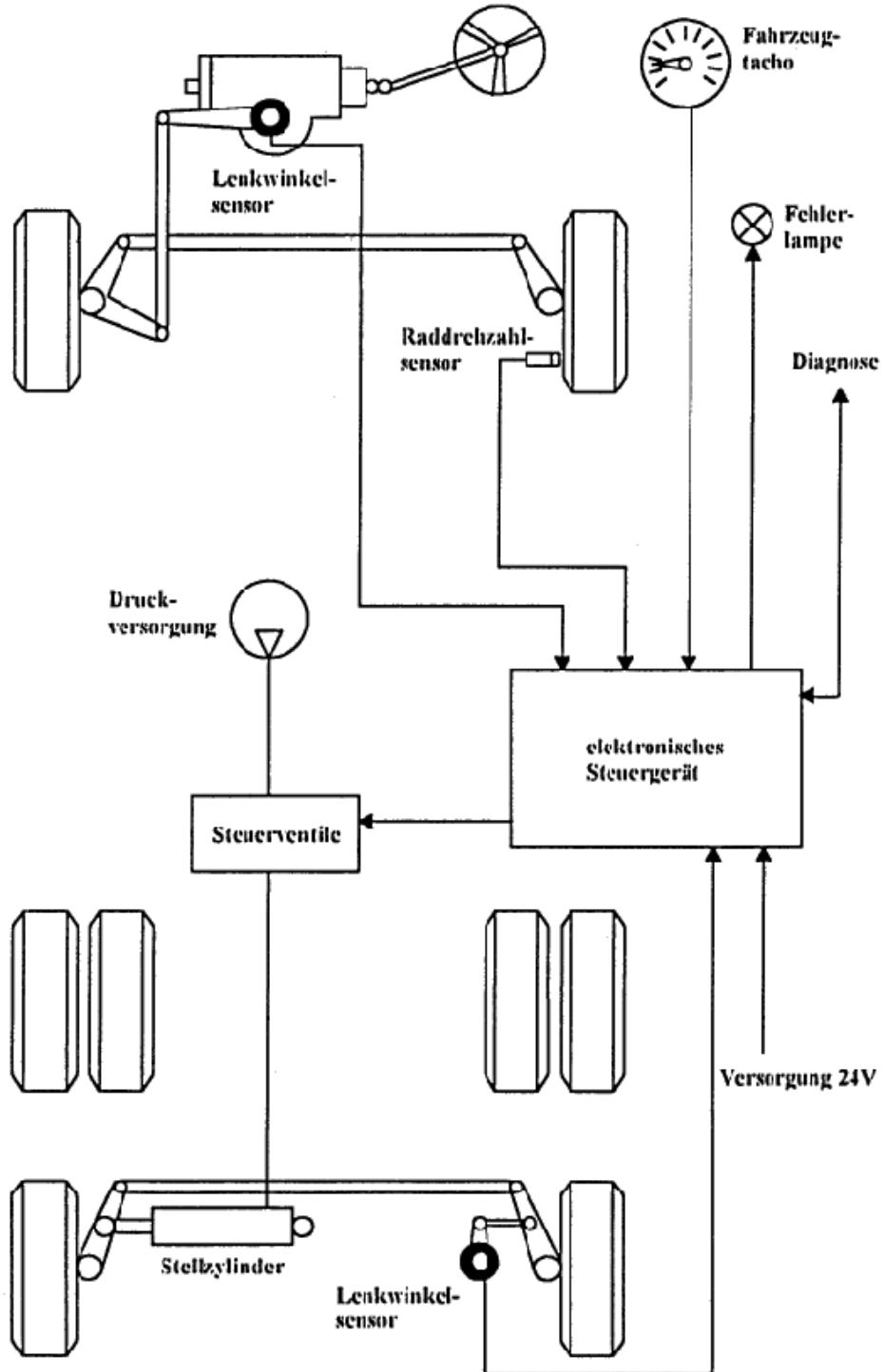
Prinzipbild für Fahrzeug 8x4x6



Prinzipbild für Fahrzeug 6x4x4 mit angetriebener, gelenkter Nachlauf- oder Vorlaufachse



**Prinzipbild für Fahrzeug 6x2x4 mit nicht angetriebener, gelenkter
Nachlauf- oder Vorlaufachse**



3.2.4. Sonderlenkung für Gelenkbusse

Bei Gelenkbussen, im Regelfall dreiachsig, erfolgt die Steuerung des hinteren Teils des Fahrzeugs über das Gelenkteil selbst oder durch mechanische bzw. mechanisch-hydraulische Steuerung.

- Die Steuerung über das Gelenkteil erfolgt zum größten Teil bei Fahrzeugen, bei denen die dritte Achse die Antriebsachse ist. In diesem Fall ist das Gelenkteil durch ausgewählte kinematische Gestaltung derartig ausgeführt, dass alle Räder um einen Mittelpunkt rollen. Es werden keine Achsen gelenkt. Ein typisches Beispiel dafür sind die Gelenkbusse der Firma MAN.
- Diese Steuerung stellt keine Lenkung von Achsen/Räder im Sinne dieser Aufgabe dar und wird deshalb bei den weiteren Betrachtungen nicht mehr berücksichtigt.
- Die mechanische Steuerung erfolgt vom Drehgelenk aus mittels Schub- und Zugstangen. Diese Variante entspricht nicht mehr dem Stand der Technik aufgrund ihrem hohen mechanischen Aufwand, dem Wartungsaufwand und dem erhöhten Verschleiß. So kommt diese Variante heute kaum noch zum Einsatz.
- Die mechanisch-hydraulische Steuerung ist eine häufig verwendete Lösung für die dritte Achse, wenn der Antrieb des Fahrzeugs an der zweiten Achse erfolgt. Grundsätzlich ist dieses Lenkprinzip ähnlich der Vorderachslenkung. Anstelle des Lenksignals von der Lenkung kommt in diesem Fall das Signal vom Drehgelenk.

Eine Entwicklung der Firma Neoplan zeigt erstmalig den Einsatz einer elektro-hydraulischen Lenkanlage für Gelenkbusse mit angetriebenem Schubteil. Die Lenkung der angetriebenen dritten Achse des Gelenkbusses, die im Heck des Schubteiles platziert ist, erfolgt über die EHLA (elektro-hydraulische Lenkanlage). Die Lenkanlage ist in einen hydraulischen Teil (Kraftübertragung und Lenkbewegung) und in einen elektronischen Teil (Steuerung und Regelung) aufgegliedert. Ein Winkelgeber im Drehgelenk gibt entsprechende Lenksignale an einen Lenkcomputer, der über Ventile im Hydraulikkreislauf und einen Hydraulikzylinder die dritte Achse entsprechend der Winkelstellung nachlenkt und dabei den Nachläufer genau auf der Spur der Mittelachse des Vorderwagens nachlaufen lässt. Bei Störungen arretiert sich der Lenkzylinder automatisch auf Geradeauslaufstellung.

Das Gesamtsystem ist mehrfach redundant aufgebaut. Alle Sicherheitsfunktionen sind doppelt vorhanden und funktionsfähig sowie plausibel (logische Selbstüberwachung) aufgebaut.

Diese eingesetzte Lenkanlage ist in den wesentlichsten Bauteilen mit der „normalen“ elektro-hydraulischen Lenkanlage identisch. Das zeigt deutlich die hohe Flexibilität und das Anpassungsvermögen der Anlage, wie sie bereits im Punkt 3.2.3. – Elektro-hydraulische Lenkung – beschrieben wurde.

4. Zusammenfassung

Unter den zur Zeit bekannten und im Einsatz befindlichen Lenkanlagen stellt die elektrohydraulische Lenkung die innovativste Ausführung dar. Besonders ihre flexible Programmierung ermöglicht eine problemlose Anpassung an die spezifischen Einsatzprofile der Fahrzeuge. Die elektronische Steuerung ermöglicht die Realisierung unterschiedlicher Lenkprogramme, mit denen selbst ein schräges Fahren möglich ist. Damit ist eine Vielzahl von Sonderlenkprogrammen realisierbar, wie z.B. Heckausschwenkminimierung.

Mit dieser Lenkanlage sind erstmalig auch Lenkstrategien möglich, die eine mechaniklose Beeinflussung und Lenkung von außen ermöglicht. Damit ist z. B. im Schwerlastbereich problemlos ein manueller Eingriff auf elektrischem Wege in die Lenkgeometrie des Aufliegers o. ä. möglich. Damit lassen sich unterschiedliche Kurvenradien entsprechend den Erfordernissen realisieren.

Mit der flexiblen Programmierung, der problemlosen Realisierbarkeit von Sonderlenkprogrammen und der Möglichkeit der Steuerung von außen sind elektrohydraulische Lenkanlagen ausgezeichnet für den Einsatz zur elektrischen/elektronischen Spurführung geeignet.

Der Einsatz des elektrohydraulischen Lenksystem an der Vorderachse ist eine Voraussetzung für die Realisierung einer Spurführung auf elektrisch/elektronischem Wege.

C Bewertung der Realisierbarkeit in Bezug auf das Fahrzeuggrundkonzept

Ausgehend von den im Punkt A und B dargestellten Ergebnissen ist die Realisierung der induktiven Spurerkennung und Spurführung im Zusammenwirken mit einer elektrisch/elektronischen Lenkanlage im geplanten Zweiwegefahrzeug prinzipiell möglich. Wie die recherchierten Praxisbeispiele zeigen, ist die dafür erforderliche Technik in verschiedenen Anwendungen vertreten und hat dabei Ihre Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt.

Für eine weitere Bearbeitung des Themas, im Sinne des automatischen Fahrwegwechsels, wird die sicherheitstechnische Auslegung der Komponenten und deren Zulassung im Rahmen der StVZO von besonderer Bedeutung sein.

D Prinziplösungen für Ein- und Ausstiege

Bei der Nutzung der vorhandenen Infrastruktur durch ein Zweiwegefahrzeuge ergeben sich zwangsläufig Konfliktstellen bezüglich der Bahnsteighöhen und Einstiegbedingungen. Diese Problematik besteht für alle sogenannten Mischbetriebsfahrzeuge, die sowohl im innerstädtischen Verkehr als auch auf klassischen regionalen Eisenbahnstrecken fahren. Dieser Zielkonflikt ist bei einem Zweiwegefahrzeug, das im Überlandlinienbusbetrieb ohne Bahnsteige auskommen muss und im Eisenbahnbetrieb mit Bahnsteighöhen bis zu 0,96 m konfrontiert wird, zwangsläufig sehr groß.

Im Eisenbahnbau war in der Bauordnung von 1904 bereits eine Bahnsteighöhe von maximal 0,38 m über Schienenoberkante vorgeschrieben. In Folge der historischen Entwicklung der Eisenbahn entstanden in den Jahren eine Reihe von verschiedenen Bahnsteighöhen. In einer Analyse von 16000 Bahnsteigen der DB AG durch den VDV konnten folgende Bahnsteighöhen ermittelt werden.

- 53% haben eine Höhe kleiner 0,38m
- 31% haben eine Höhe von 0,38m bzw. 0,55m
- 12% haben eine Höhe von 0,76m
- 4% haben eine Höhe von 0,96m

Wie die Darstellung zeigt, sind ca. 84% aller Bahnsteige niedriger bzw. gleich 0,5 m. Alle bisher untersuchten und realisierten Lösungen konnten keine ausreichenden Ergebnisse für das komplette Spektrum der Einstiegshöhen von 0,00 m bis 0,96 m nachweisen. Deshalb wurde für das Zweiwegefahrzeug eine Präzisierung der zu erwartenden und realisierenden Einstiegshöhen entsprechend der vorstehenden Analyse vorgenommen. Im Rahmen dieser Präzisierung wurde der zu erreichende optimale Einstiegsbereich mit kleiner 0,38 m bis 0,55 m, entspricht 84%, und 0,76m, entspricht 12%, festgelegt. Die Höhe von 0,96 m wird damit in den weiteren Betrachtungen nicht mehr schwerpunktmäßig betrachtet. Mit dieser Darstellung werden 96 % aller Bahnsteige berücksichtigt. Für die Lösung der Einstiegsproblematik sind grundsätzlich zwei Lösungsansätze realisierbar:

- Infrastrukturseitige Anpassung
- Fahrzeugseitige Anpassung

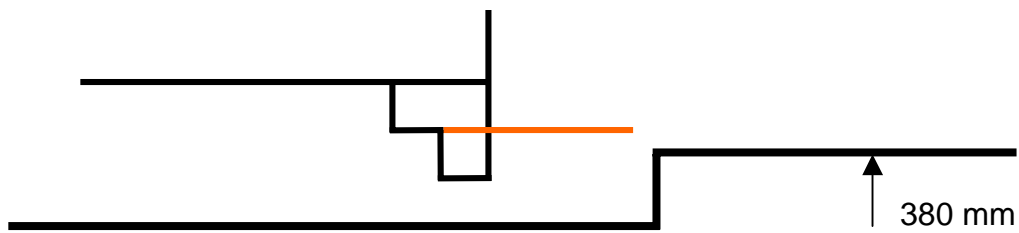
Die infrastrukturelle Anpassung erfordert erhebliche bauliche Veränderungen an einem Großteil der Bahnsteige und damit größere Investitionen. Entsprechend der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sollten keine zusätzlichen Baumaßnahmen zur Anwendung kommen, da bereits für die Gestaltung der Fahrwegwechselstelle mit entsprechenden Infrastrukturmaßnahmen zu rechnen ist. Deshalb wird von einer weiteren Betrachtung dieses Lösungsansatzes Abstand genommen.

Die fahrzeugseitige Anpassung stellt unter den präzisierten Anwendungsbedingungen eine optimale Lösungsmöglichkeit dar. In Zusammenwirken mit den vorhandenen Funktionselementen Luftfederung und Schwingungsdämpfer ist eine Anhebung und Absenkung des gesamten Fahrzeugaufbaus möglich, wie es bereits für die Funktionsstufe „Liften der Achsen für den Fahrwegwechsel“ konzipiert ist.

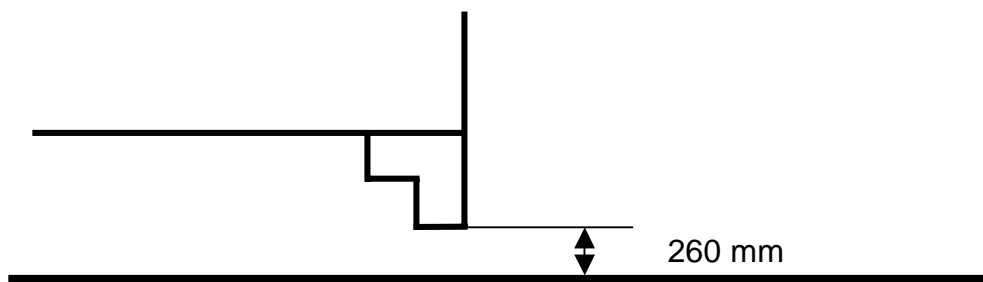
Mit den neuartigen Luftfeder-Dämpfer-Modulen, die von führenden Herstellern angeboten werden, sind Liftmöglichkeiten bis zu 280 mm problemlos zu realisieren. Mit einem derartigen Lösungsansatz und einem speziellen Trittstufenkonzept lassen sich für das Zweiwegefahrzeug alle erforderlichen Einstiegshöhen optimal anpassen und realisieren.

Die nachfolgenden Prinzipskizzen zeigen die Anwendungsmöglichkeiten dieser dargestellten Techniken und deren Realisierung beim Zweiwegefahrzeug DuoTrans:

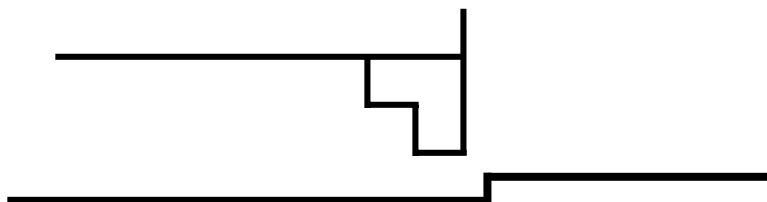
Darstellung 3 – Schienenfahrt, 380 mm Bahnsteighöhe, Fahrzeug in 0 Position



Darstellung 4 – Schienenfahrt, ohne Bahnsteig, Fahrzeug 100 mm abgesenkt
- Straßenfahrt ohne Bordsteinkante



Darstellung 5 – Straßenfahrt mit Bordsteinkante, Fahrzeug 100 mm abgesenkt



III. Kongruenzprüfung von technisch-konstruktiven Lösungsvorschlägen, technischen Sicherheits- und Betriebsvorschriften und Zulassungsbestimmungen

1. Gesetzliche Bestimmungen für ein Zweibegefahrzeug

Die gesetzlichen Bestimmungen für den Bau, die Zulassung und den Betrieb der Fahrzeuge sind in verschiedenen Rechtsvorschriften festgeschrieben.

- Für den omnibusspezifischen Teil gilt u.a. das Straßenverkehrsrecht mit seinen Detailfestlegungen (im weiteren zugrunde gelegt die Textfassung der Loseblatt-Textsammlung des Verlages C.H. Beck München vom 01.10.2000).
- Für den bahnspezifischen Teil gelten die Eisenbahngesetze mit ihren Vorschriften und Kommentaren (im weiteren zugrunde gelegt das „Taschenbuch der Eisenbahngesetze“ – Rainer Freise 12. Auflage 1998 des Hestra-Verlages, der „Kommentar zur Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung“ von Thoma/Pätzold/Wittenberg in der 3. Auflage 1996 des Hestra-Verlages, das „Gemeinsame Signalbuch DS 301 und DV 301 der DB AG“ und Schrift der Modulfamilie 931.1 der DB Netz vom 01.03.1999). Die BO Strab vom 11.07.1987 wird nur dort besonders aufgeführt, wo gravierende Unterschiede zur EBO festgestellt werden. Im wesentlichen werden die Bestimmungen durch die EBO gedeckt. In der BO Strab-Anlage wird auf die jeweiligen EBO-Paragraphen Bezug genommen.

Im weiteren ist die Vereinbarkeit beider Rechtsvorschriften zu prüfen. Allgemeingültige Verordnungen, Vorschriften, Normen, Regeln sowie tangierende allgemeingültige Gesetze als auch Sicherheitsaspekte und Brandschutzbestimmungen werden infolge der generellen Gültigkeit für alle Fahrzeugarten nicht besonders angeführt.

Die Gemeinsamkeiten in Wort und Geist sind herauszuarbeiten. Bei divergierenden Bestimmungen sind diese kenntlich zu machen und mit Interpretationsvorschlägen so aufzuarbeiten, dass in Beratungen mit Sachverständigen die Problematik erkennbar wird.

In Anlehnung an die Darstellungsweise der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (im folgenden nur EBO genannt) werden die Vorschriften, welche identisch im Wortlaut bzw. volle Sinnübereinstimmung bei abweichender Wortwahl haben, über die gesamte Seite geschrieben und erhalten einen grünen Rahmen. Wo nur in einer Rechtsvorschrift Festlegungen getroffen werden, die betrachtet werden müssen und die nicht zu den Vorschriften des anderen Gesetzeswerkes in Widerspruch stehen, wird dies halbseitig (links omnibusspezifisch und rechts bahnspezifisch) erfolgen. Diese Seitenuntergliederung wird auch bei den im folgenden erklärten Darstellungsarten angewendet.

Die Vorschriften, welche nicht explizit identisch sind, aber aus Sicht der einen oder anderen Betrachtungsweise den Zweck der Festlegung erfüllen, werden so aufgearbeitet, dass argumentativ die Fakten für ein beratendes Gespräch mit der jeweiligen Zulassungsbehörde aufgelistet werden. Diese, weiteren Klärungsbedarf erfordernden Details, werden blau eingerahmt. In den Fällen, in denen Ausnahmegenehmigungen beantragt werden müssen, wird dies begründet, und es wurden entsprechende Argumente beigegeben. Diese Passagen werden rot eingerahmt.

1.1. Zulassungsverfahren StVZO / EBO

- § 1 Geltungsbereich (EBO)**
- § 18 Einteilung, Begriffserklärungen (EBO)**
 - Pkt. 1 Inhalt und Geltungsbereich (Richtlinie zum Modul 931.0001 Nebenfahrzeuge – Bauart... im weiteren Modul 931.x genannt) (Abs. 1 bis 4)**
 - Pkt. 2 ebenda (Abs. 1 bis 10)**

Der Einsatz des Fahrzeuges ist aus heutiger Sicht nur auf Nebenstrecken und als Nebenfahrzeug geplant.
Es wird ein Regelspurfahrzeug mit einer Spurweite von 1435 mm.

- § 16 Grundregeln der Zulassung in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (im weiteren Verlauf StVZO genannt)**
- § 2 Allgemeine Anforderungen der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (im weiteren Verlauf EBO genannt).**

Es besteht weitgehende Textübereinstimmung. Der Sinn der Vorschriften stimmt zu 100% überein.

- § 17 Einschränkung und Entziehung der Zulassung (StVZO)**
- § 18 Zulassungspflichtigkeit (StVZO)**
- § 19 Erteilung und Wirksamkeit der Betriebserlaubnis (StVZO)**
- § 21 Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge (StVZO)**
- § 23 Zuteilung der amtlichen Kennzeichen (StVZO)**
- § 24 Ausfertigung des Fahrzeugscheines (StVZO)**
- § 25 Behandlung der Fahrzeugbriefe bei den Zul.St. (StVZO)**
- § 27 Meldepflichten der Eigentümer und Halter... (StVZO)**
- § 3 Ausnahmen, Genehmigungen (EBO)**
- § 32 Abnahme... der Fahrzeuge Abs. 1 (EBO)**
 - Pkt. 3 Prüfen der Bauart und Abnahme (Modul 931.0001 Abs. 1 bis 8)**
 - Pkt. 4 Einstellen von Nebenfahrzeugen (Modul 931.0001 Abs. 1 bis 13)**
 - Pkt. 5 Inhalte und Nachweise der Prüfungen (Modul 931.0001 Abs. 1 bis 10)**
 - Pkt. 6 Betriebsbuch (Modul 931.0001 Abs. 1 bis 3)**

In der StVZO ist explizit festgeschrieben, dass eine Zulassungspflicht besteht, dass diese Zulassung wieder entzogen werden kann und dass die Nutzung eines Kfz nur mit einem amtlichen Kennzeichen nach Ablauf eines exakt definierten Verwaltungsablaufes erfolgen darf. Ähnliche Vorschriften gelten auch bei der Bahn. In o.g. Modul ist der Verfahrensweg zur Einstellung eines neuen Fahrzeuges in Gleisanlagen der DB AG festgelegt.

§ 28	Prüfungsfahrten, Probefahrten, Übungsfahrten (StVZO)
§ 29	Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger (StVZO)
Anl. VIII	Untersuchung der Fahrzeuge (StVZO)
Anl. VIIIa	Durchführung der Hauptuntersuchung (StVZO)
Anl. VIIIb	Anerkennung von Überwachungsorganisationen (StVZO)
Anl. VIIIc	Anerkennung von Kfz-Werkstätten (StVZO)
Anl. IX	Prüfplakette Überwachung (StVZO)
Anl. IXa	Plakette ASU (StVZO)
§ 30	Beschaffenheit der Fahrzeuge (StVZO)
§ 31	Verantwortung für den Betrieb (StVZO)
§ 32	Untersuchung der Fahrzeuge Abs. 2, 3 und 4 (EBO)
§ 33	Überwachungsbedürftige Anlagen der Fahrzeuge (EBO)
Pkt. 8	Spezifische Unterlagen (Modul 931.0003 Abs. 1)

Für Kraftfahrzeuge sind die Untersuchungstiefen, die Untersuchungsintervalle, die Untersuchungsdurchführung und alle Nachweisfragen exakt geregelt.

In den Rn 10 bis 15 des Kommentars zur EBO Seite 178/179 wird die Regelung erläutert, dass Untersuchungen bei der Eisenbahn in eigener Regie und Verantwortung des Halters durchgeführt werden. Ziel der planmäßig wiederkehrenden Untersuchungen ist es dabei, die Anforderungen an das Fahrzeug und dessen Betriebssicherheit zu sichern. Der Umfang der Untersuchungen ist weder gesetzlich noch durch Rechtsvorschriften oder verbindliche Verwaltungsvorschriften festgelegt.

Einziger Hinweis ist im Modul 931.0003 Pkt. 8 zu vorzulegenden Unterlagen zur Einstellung des Fahrzeuges in die Gleisanlagen der DB zu finden.

Die Untersuchungsintervalle liegen weit über denen der Omnibusse. Es kommen verschleißabhängige Laufleistungsgrenzwerte zur Anwendung, die von den Eisenbahnverwaltungen selbst festgesetzt werden. Kontrolliert wird nur die fristgemäße Durchführung der Untersuchungen.

Als überwachungsbedürftige Anlagen gelten im Sinne der EBO nur Dampfkessel und Bremsluftbehälter. Da Druckluftbehälter in Kraftfahrzeugen entsprechend § 41 a auch einer regelmäßigen Kontrolle zu unterziehen sind, wird dies in den periodischen Intervallen mit durchgeführt. Es gibt von beiden Grundvorschriften her keine Unterschiede. Dampfkessel werden planmäßig nicht verwendet.

Bei Anwendung der Vorschriften der StVZO werden alle Forderungen der EBO in Bezug auf § 32 Abs. 2, 3 und 4 und § 33 Abs. 1 gesichert. Die eisenbahn-spezifischen Untersuchungen sind in einem Zusatzprotokoll festzulegen und deren Durchführung zu bestätigen. Die Aufbewahrung hat einheitlich beim Eigner zu erfolgen.

Es wäre sinnvoll, mit einem Eisenbahnbetrieb die genauen Wege, die Details der Aufschreibungen und die verwendeten Formblätter zu besprechen. In Gesprächen mit der Zulassungsstelle der Bahn wäre eine Bestätigung des hier vorgeschlagenen Verfahrensweges einzuholen.

1.2. Pflichtversicherungen StVZO / EBO

§ 29 a	Versicherungsnachweis (StVZO)
§ 29 b	Versicherungsnachweis bei Inbetriebnahme n. Stilllegung (StVZO)
§ 29 c	Anzeigepflicht des Versicherers (StVZO)
§ 29 d	Maßnahmen beim Fehlen des Versicherungsschutzes (StVZO)
§ 29 e	Versicherungskennzeichen (StVZO)
§ 29 g	Rote Versicherungskennzeichen (StVZO)
§ 29 h	Vorzeitige Beendigung des Versicherungsverhältnisses (StVZO)
§ 4a–f	Pflichtversicherungsgesetz (Straßenverkehrsrecht)
§ 1–14	Haftpflichtgesetz (HPfIG) v. 04.01.1978 – Taschenbuch der Eisenbahngesetze
§ 1-3	Haftpflichtversicherungsverordnung v.21.12.1995/25.08.1998 dto.

In der StVZO ist traditionell alles bis ins Detail geregelt.

Im Pflichtversicherungsgesetz werden in Unterpunkten allgemeine Festlegungen getroffen, wie:

- Allgemeine Bedingungen für die Kraftfahrversicherung – (AKB)
- Schadensfälle mit im Ausland zugelassenen Kraftfahrzeugen...
- Verordnung über den Entschädigungsfonds...
- Bekanntmachung über den Entschädigungsfonds...
- Kraftfahrzeug-Pflichtversicherungsverordnung – (KfzPflVV)

Die Eisenbahngesetze haben nicht so exakte Aussagen und lassen interpretatorischen Spielraum. Sicher haben sich in den Jahren dazu auch verbindliche Rechtsgrundsätze entwickelt, welche einen Vergleich mit Straßenfahrzeugen erlauben. Das Grundanliegen ist überall das gleiche.

Eine Konsultation von Versicherungsspezialisten scheint hier unumgänglich. Da es heute durchaus üblich ist, Versicherungsverträge auf ganz spezielle Fälle zuzuschneiden, sehen wir hier kein größeres Problem. Handlungsbedarf besteht nur insofern kurzfristig, dass eine renommierte Versicherung anzuschreiben und deren grundsätzliche Bereitschaft zum Abschluss einer solchen Versicherung einzuholen wäre. Die notwendigen Vertragsverhandlungen könnten kurz vor der Fertigstellung des ersten Zweiwegefahrzeuges geführt werden. Im Anschreiben wäre der Zeitbedarf für den Versicherungsgeber zu hinterfragen.

1.3. Bauvorschriften StVZO / EBO

In diesem Punkt werden ausschließlich die exakten Regelungen beider Vorschriften verglichen und auf eventuelle Widersprüche bewertet. Allgemeinplätze wie Einhaltung tangierender Rechtsvorschriften, Anerkenntnis der Regeln der Technik und Sicherheitskriterien wurden bzw. werden an anderer Stelle behandelt.

Unter Bauvorschriften werden hier auch nur die das Fahrzeug direkt betreffenden Festlegungen verstanden und untersucht.

Pkt.1 Allgemeines (Modul 931.0003 Abs. 1 bis 3)

Für die Verwendung von Bauelementen (Radscheiben, Radsätze, Drehgestelle usw.) müssen Ausnahmegenehmigungen eingeholt werden.

Hierzu sollte im Vorfeld ein klärendes Gespräch geführt werden.

Pkt.2 Fahrzeugbegrenzung (Modul 931.0003 Abs. 1 und 10)

Im Absatz 10 o.g. Vorschrift wird u. a. festgelegt, dass Fahrzeuge mit einer Spurweite größer als 1570 mm nicht schneller als 20 km/h fahren dürfen. Nach unserem Verständnis gilt das nur bei Antrieb über Straßenräder auf der Schiene.

Vor einer Intervention sollte jedoch im Grundkonzept soweit Klarheit herrschen, dass man definitiv die Einhaltung der EBO Anlage 8 Bild 1 und 3 bestätigen kann. Ein klärendes Gespräch mit Bahnverantwortlichen sollte danach aber gesucht werden.

- § 32 Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen (StVZO)**
- Pkt.2 Fahrzeugbegrenzung (Modul 931.0003)**
- § 34 Achslast und Gesamtgewicht (StVZO)**
- § 34 a Besetzung von Kraftomnibussen (StVZO)**
- § 19 Radsatzlasten und Fahrzeuggewichte je Längeneinheit (EBO)**
- § 22 Begrenzung der Fahrzeuge (EBO)**
- Pkt. 3 Fahrwerk und Fahreigenschaften (Modul 931.0003 Abs.11 bis 19)**

	StVZO	EBO
Zul. Gesamtbreite (mm)	2.550	3.240
Zul. Gesamthöhe (mm)	4.000	3.970 (Anlage 1)
Zul. Gesamtlänge (mm)	12.000 18.000 (Gelenkbus)	keine Angaben
Zul. Einzelachslasten (t)	10,00	12,50
Zul. Antriebsachslasten (t)	11,50	keine Angaben
Zul. Gesamtgewicht (t)	28,00 (Gelenkbus)	4,50 t/m

Die grün eingetragenen Zahlen sind die jeweils maximal zulässigen Werte. Sie stehen nicht zueinander im Widerspruch. Bei Beachtung im Zuge der Konstruktion werden keine Probleme auftreten.

In beiden Vorschriften gibt es Detailfestlegungen zu Radsatzlasten, zu Verhältnissen von Radaufstandkraft zu Achslasten, von der Verteilung und von Unterschieden von Radaufstandkräften. In einer Grundsatzuntersuchung ist dies zu bewerten und in einem Thesenpapier o.ä. zu bestätigen. Allen künftigen Entscheidungen ist dies dann zugrunde zu legen. Prinzipiell sind keine unlösbaren Schwierigkeiten zu erwarten.

- § 35 Motorleistung (StVZO)**
- § 35 a Sitze, Sicherheitsgurte, Rückhaltesysteme (StVZO)**
- § 35 b Einrichtung zum sicheren Führen der Fahrzeuge (StVZO)**
- § 35 c Heizung und Lüftung (StVZO)**
- Pkt. 3 Fahrwerk und Fahreigenschaften (Modul 931.0003 Abs. 1-3)**

Hier wird eine Antriebsleistung von mindestens 5,0 kW je Tonne zulässigem Gesamtgewicht gefordert. In unserem Fall bedeutet dies eine Leistung größer 90 / 140 kW.

Die Bahn hat nur indirekt ähnliche Forderungen. Die Forderung, dass die angeschriebene Geschwindigkeit erreicht werden muss, stellt dabei nicht das Problem dar. Der zweite Teil der Forderungen ist es, der nicht erfüllbar scheint. „Die zulässige Geschwindigkeit muss in beiden Fahrrichtungen erreicht werden können.“ Technisch sicher kein Problem. Kann man aber vom Vordersitz aus so schnell rückwärts fahren?

Hier sollte in Rücksprachen mit der Bahnzulassungsstelle Klarheit geschaffen werden.

- | | |
|----------------------------|--|
| § 35 e | Türen (StVZO) |
| § 35 f | Notausstiege in Kraftomnibussen (StVZO) |
| § 28 (2-4, 8-10,13) | Ausrüstungen und Anschriften (EBO) |

Die Forderungen der EBO gehen über die der StVZO hinaus. Die hohen Geschwindigkeiten und der zunehmend häufigere Tunnelbetrieb führten zu der Festlegung, dass Türsysteme druckdicht sein müssen.

Alle sonstigen Forderungen sind mit handelsüblichen und bewährten Türsystemen erfüllbar.

Die Festlegungen zu Notausstiegen in der StVZO decken die entsprechenden Festlegungen in der EBO ab bzw. gehen über diese hinaus.

Zu den Fragen der Druckdichtheit der Türen ist in einer Konsultation mit der Abnahmestelle der Eisenbahn zu klären, ob diese Forderung auch bei den geringeren Geschwindigkeiten des Zweiwegefahrzeuges erhoben wird. Konstruktiv macht das keine Schwierigkeiten. Kostenseitig wird sich dies aber negativ auswirken. Das höhere Eigengewicht der Konstruktion würde sich auch unerwünscht in der Gewichtsbilanz niederschlagen.

- | | |
|----------------|--|
| § 35 g | Feuerlöscher in Kraftomnibussen (StVZO) |
| § 35 h | Erste-Hilfe-Material in Kraftfahrzeugen (StVZO) |
| § 37 | Ausrüsten der Züge mit Mitteln zur ersten Hilfeleistung (EBO) |
| Pkt. 10 | Sonstiges (Modul 931.0001 Abs. 4) |

In den Eisenbahnvorschriften, welche hier zugrunde gelegt werden, sind keine expliziten Aussagen zum Umfang der Ausrüstung vorhanden. Zu Feuerlöschern gibt es den Verweis auf das Modul 132.0133. In den Fragen des Verbandskastens gibt es nur allgemeine Aussagen.

Hier besteht Abstimmungsbedarf, ob die definitiv vorgeschriebene Ausrüstung der Kraftomnibusse ausreichend ist.

- § 35 dFußboden und Übergänge (StVZO)**
- § 35 i Gänge, Anordnung von Fahrgastsitzen und Beförderung von Fahrgästen in Kraftomnibussen (StVZO)**
- § 35 j Brennverhalten der Innenausstattung von Kraftomnibussen (StVZO)**
- § 28 (7) Ausrüstung und Anschriften (EBO)**

Zum § 35 i der StVZO gibt es keine adäquate Festlegung in der EBO.

Zum Brennverhalten gibt es in beiden Werken allgemeine Forderungen. In der VO vom 23.03.2000 (BGBl. 1 S. 310) werden dabei konkrete Aussagen gemacht. Hier wird unterschieden, ob das Fahrzeug tunneltauglich sein muss oder nicht. Es empfiehlt sich, die sicherere Variante zu wählen. Der Unterschied besteht im wesentlichen im Brennverhalten des eingesetzten Materials.

- § 36 Bereifung und Laufflächen (StVZO)**
- § 37 Gleitschutzeinrichtungen und Schneeketten (StVZO)**
- § 21 Räder und Radsätze (EBO)**
- Pkt. 3 Fahrwerk und Fahreigenschaften (Modul 931.0003 Abs. 4-10)**

Die Paragraphen der StVZO sind eindeutig und beinhalten keine zu klärenden Details.

Die Eisenbahnvorschriften sind in diesem Punkt exakt und lassen keinen größeren Spielraum zu. In Anlage 3 o.g. Vorschrift ist ein Raddurchmesser von 470 bis 550 mm zulässig. Das Radreifenprofil ist im Modul 931.0002 Anhang 2 Seite 1 bis 4 vorgegeben.

Es ist dringend anzuraten, bereits jetzt exakte Einbaumaße festzulegen und diese im weiteren Verlauf der Bearbeitung als unveränderbare Eckpunkte zu behandeln.

§ 38 Lenkeinrichtung (StVZO)
Pkt. 3 Fahrwerk und Fahreigenschaften (Modul 931.0003 Abs. 20-23)

Selbstverständlich hat dieser Paragraf hauptsächlich für den omnibus-technischen Teil Auswirkungen. Bei Beachtung aller konstruktiven Restriktionen sind keine Komplikationen absehbar.

Die Eisenbahnforderungen beschränken sich auf die Forderung, die Lenkachse des Straßenfahrwerkes bei der Schienenfahrt zu blockieren. Absätze 21-23 stellen konstruktiv lösbare Aufgaben dar.

§ 39 Rückwärtsgang (StVZO)
§ 39 a Betätigungseinrichtungen (StVZO)

Es handelt sich hierbei ausschließlich um omnibuspezifische Festlegungen, welche keinerlei Probleme beinhalten.

§ 40 Scheiben, Scheibenwischer (StVZO)
§ 28 (6) Ausrüstungen. (EBO)
Pkt. 4 Fahrzeugaufbau (Modul 931.0003 Abs. 14 und 17)

Die Forderungen sind ähnlich.

Zur restlosen Absicherung sollte mit der Bahn beraten werden, dass der im Kommentar zur EBO Rn 27 Seite 172 definitiv eingeschlossene gläserne Spiegel nicht für die dem Fahrzeugführer zugeordneten Innenspiegel gilt.

Es gibt zur Zeit unseres Wissens nach keine Sicherheitsglasinnenspiegel. Eventuell sollte mit der Industrie im Falle der Forderung der Bahn über Metallspiegel verhandelt werden.

Zur Forderung, eine Sicherheitsfrontglasscheibe von 12 mm Dicke einzubauen, ist zu prüfen, ob die als Alternative angebotenen Mindestwerte für Querbeanspruchung und Druckdifferenz von herkömmlichen Omnibusfrontscheiben eingehalten werden. Im Falle eines negativen Ergebnisses ist in Rücksprache mit der Bahnzulassungsstelle eine Lösung zu erarbeiten.

- § 41 Bremsen und Unterlegkeile (StVZO)**
- § 41 b Automatischer Blockierverhinderer (StVZO)**
- § 23 Bremsen (EBO)**
- § 35 Bremsen der Züge (EBO)**
- § 42 (3) Hemmschuhe (EBO)**
- § 43 Sichern stillstehender Fahrzeuge (EBO)**
- Pkt. 5 Bremsen (Modul 931.0003 Abs. 1 bis 19)**

Die im Omnibusbereich existierenden Festlegungen gehen über die im Bahnbereich üblichen Angaben hinaus. In Details und Werten sind die festgeschriebenen Forderungen zu prüfen und mit den Vorschriften der Bahn zu vergleichen

Die Forderung nach einem Notbremsventil wird im Abschnitt 15 des Moduls 931.0003 definitiv festgeschrieben. Die geforderten Werte zum Bremsweg und zum Restreibungsgewicht sind bei der Konstruktion zu beachten.

Absprachen mit den Verantwortlichen der Kfz-Zulassungsstelle bzw. des Eisenbahnbundesamtes sollen klären, ob Notbremseinrichtungen erforderlich sind. Bei positivem Entscheid ist gleichzeitig über die Bauart und die Verwendung zu entscheiden (§ 23 Abs.3 amtliche Begründung Rn 2 und Erläuterungen Rn 9). Gleichfalls sollte über die Notwendigkeit der Mitführung von Hemmschuhen entschieden werden.

Die im § 43 Abs. 2 geforderte Beaufsichtigung sollte über die gelieferte Erläuterung hinaus beraten werden. Insbesondere über die Definition des Abschließens der Führerräume oder Fahrerpulte. Hieraus können sich konstruktive Forderungen ergeben.

- § 43 Einrichtung zum Verbinden von Fahrzeugen (StVZO)**
- § 24 Zug- und Stoßeinrichtungen (EBO)**
- Pkt. 4 Fahrzeugaufbau (Modul 931.0003 Abs. 1 bis 4)**

Für beide Betriebszustände gibt es weitreichende Vorschriften. Sie lassen soviel konstruktiven Spielraum, dass es nicht zu Schwierigkeiten kommen wird.

- § 45 Kraftstoffbehälter (StVZO)
- § 46 Kraftstoffleitungen (StVZO)
- § 47 Abgase (StVZO)
- § 47 a Untersuchung des Abgasverhaltens... (StVZO)
- § 47 b Anerkennungsverfahren zur Durchführung... (StVZO)
- § 47 c Ableitung von Abgasen (StVZO)
- § 47 d Kohlendioxidemissionen und Kraftstoffverbrauch (StVZO)
- § 48 Emissionsklassen für Kraftfahrzeuge (StVZO)
- § 49 Geräuscentwicklung und Schalldämpferanlage (StVZO)

Es handelt sich bei diesen Vorschriften ausschließlich um Forderungen, welche bei der Konstruktion des Fahrzeuges vom Fachmann zu beachten sind. Probleme kann es hier keine geben.

Pkt. 4 Fahrzeugaufbau (Modul 931.0003 Abs. 6)

Bahnräumer sind schwer und konstruktiv in unserem Fall nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren. Die außerordentlich beengten Verhältnisse unter dem vorderen Wagenteil und die beträchtliche Höhe über dem Gleis würden aufwendige Lösungen erfordern.

In einem Gespräch mit verantwortlichen der Bahnzulassungsstelle sollte ausgelotet werden, ob und unter welchen Bedingungen auf den herkömmlichen Bahnräumer verzichtet werden könnte.

§ 49 a	Lichttechnische Einrichtungen, allgemeine Grundsätze (StVZO)
§ 50	Scheinwerfer für Fern- und Ablendlicht (StVZO)
§ 51	Begrenzungsleuchten, vordere Rückstrahler. (StVZO)
§ 51 a	Seitliche Kenntlichmachung (StVZO)
§ 51 b	Umrissleuchten (StVZO)
§ 51 c	Parkleuchten, Park-Warntafeln (StVZO)
§ 52	Zusätzliche Scheinwerfer und Leuchten (StVZO)
§ 52 a	Rückfahrcheinwerfer (StVZO)
§ 53	Schlussleuchten, Bremsleuchten, Rückstrahler (StVZO)
§ 53 a	Warndreieck, Warnleuchte, Warnblinkanlage (StVZO)
§ 53 d	Nebelschlussleuchten (StVZO)
§ 54	Fahrtrichtungsanzeiger (StVZO)
§ 54 a	Innenbeleuchtung in Kraftomnibussen (StVZO)
§ 55	Einrichtungen für Schallzeichen (StVZO)
§ 55 a	Elektromagnetische Verträglichkeit (StVZO)
§ 45 (4)	Spitzensignal (Gemeinsames Signalbuch DS 301 und DV 301)
§ 46	Schlussignal (Gemeinsames Signalbuch DS 301 und DV 301)
Pkt. 6	Warn- und Signaleinrichtungen (Modul 931.0003 Abs. 1 bis 10)

Alle Vorgaben der StVZO sind ohne Schwierigkeiten einhaltbar. Der Konstrukteur hat im Zusammenwirken mit dem Designer darauf zu achten, dass alle Maßvorgaben eingehalten und nur zugelassene Produkte verwendet werden.

Die Angaben der Bahn sind exakt und lassen kaum Spielraum für Gemeinsamkeiten in der nach außen wirkenden elektrischen Ausrüstung zu. Es wird sinnvoll sein, getrennte, nach außen wirkende Schaltkreise zu schaffen.

Entsprechend § 45 (3) ist festgelegt, „auf elektrisch betriebenen S-Bahnstrecken wird das dritte Spitzenlicht durch das beleuchtete Richtungsschild ersetzt“. Es wäre zu prüfen, ob diese Festlegung auch beim Zweiwegfahrzeug Anwendung finden könnte. Bei negativem Bescheid müsste der Designer dies bei seinen Entwürfen berücksichtigen.

Insgesamt wären getrennte Schaltkreise mit automatischem Schaltvorgang bei Fahrwegwechsel eine sinnvolle Lösung.

Die Schallgebung der Eisenbahn unterscheidet sich deutlich von der in Straßenfahrzeugen eingebauten Einrichtung. Das bei der Bahn vorgeschriebene Loksignal (Makrofon) soll vorzugsweise auf dem Dach des Fahrzeuges angebracht werden. Aus Gründen der Lärmbelästigung der Fahrgäste sollte vom Konstrukteur hier besondere Sorgfalt bei seiner Lösung gefordert werden.

- § 56 Rückspiegel und andre Spiegel (StVZO)**
- § 57 Geschwindigkeitsmessgerät und Wegstreckenzähler (StVZO)**
- § 57 a Fahrtschreiber und Kontrollgerät (StVZO)**
- § 57 b Prüfung der Fahrtschreiber und Kontrollgeräte (StVZO)**
- § 57 c Ausrüstung von Kraftomnibussen mit Geschwindigkeitsbegr. (StVZO)**
- § 57 d Einbau und Prüfung von Geschwindigkeitsbegrenzern (StVZO)**
- § 58 Geschwindigkeitsschilder (StVZO)**
- § 28 (1) Ausrüstung – Geschwindigkeitsmesser (EBO)**
- Pkt. 6 Warn- und Signaleinrichtungen (Modul 931.0003 Abs. 11 und 12)**

Zum Kfz-Teil gibt es keine Schwierigkeiten.

Im Bahnteil wird ein spezieller Fahrtschreiber gefordert.

Eine Rückversicherung bei der Bahn zur Anerkennung der Kfz-Geschwindigkeitsmesser mit integriertem Fahrtschreiber wäre ratsam. Bei positivem Bescheid wäre dem Konstrukteur ein entsprechender Auftrag zur Funktion des Messgerätes bei beiden Fahrzuständen zu geben.

- § 59 Fabrikschilder. (StVZO)**
- § 60 Anbringung amtl. Kennzeichen (StVZO)**
- § 60 a Anbringung des Versicherungskennzeichens (StVZO)**
- § 62 Elektr. Einr. von elektr. angetr. Kraftfahrzeugen (StVZO)**
- § 28 (14) Anschriften (EBO)**
- Pkt. 8 Anschriften, Anstriche (Modul 931.0001 Abs. 1 bis 8)**
- Pkt. 9 Technische Unterlagen (Modul 931.0001 Abs. 1-2)**
- Pkt. 10 Sonstiges (Modul 931.0001 Abs. 4)**

Die Omnibusspezifischen Forderungen sind ohne Abstriche erfüllbar.

Die Vorschriften zu den Anschriftentafeln stellen kein Problem dar. Die technischen Unterlagen und Ausrüstungen sind selbstverständlich.

Für Zweiwegfahrzeuge (gemeint sind Bagger und ähnliche Spezialfahrzeuge) wird aber der Grundfarbton goldgelb (RAL 1004) vorgegeben.

Im Gespräch mit Bahnverantwortlichen sollte die Farbfrage erläutert werden. Einer einheitlichen Farbgebung steht prinzipiell nichts im Wege, weiß mit rotem Band o.ä. würde dem Ziel des Zweiwegfahrzeuges eher entsprechen.

§ 28 (1)	Ausrüstung, Abs. 4 b - Zugbeeinflussung (EBO)
	Abs. 6 - Sicherheitsfahrerschaltung (EBO)
	Abs. 7 - Zugfunkeinrichtung (EBO)
Pkt. 5	Bremsen (Modul 931.0003 Abs. 19)

Vergleichbare Sicherheitseinrichtungen gibt es für Omnibusse nicht. „Bei zulässigen Geschwindigkeiten bis 100 km/h hält es der Verordnungsgeber für noch ausreichend, Zugbeeinflussung nur zu fordern, wenn die Fahrzeuge überwiegend auf entsprechend ausgerüsteten Strecken verkehren. Unter „überwiegend“ im Sinne dieser Vorschrift ist ein Anteil von mehr als 50 % der Einsatzzeit nach dem Lauf- bzw. Umlaufplan des jeweiligen Triebfahrzeugs oder anderen führenden Fahrzeugen zu verstehen“ (EBO).

Es wäre zu klären, ob diese Kriterien zutreffen und wie sich die Verantwortlichen der Bahn dazu stellen. Es handelt sich um eine Kannbestimmung! Bei Beharren auf dieser Forderung wäre zu klären, welche bewährten Einrichtungen von wem geliefert werden.

Die Sicherheitsfahrerschaltung ist unverzichtbar. Da es dafür sicher handelsübliche Produkte gibt, wird es nicht zu Schwierigkeiten kommen.

Die Zugfunkeinrichtung wird nur für Fahrzeuge, die schneller als 100 km/h sind oder auf Strecken verkehren, die keine Streckenblockeinrichtung haben, gefordert. Erleichternd wirkt, dass auch transportable Funkeinrichtungen zulässig sind.

Es wäre zu klären, ob die geplante Ausrüstung mit Verkehrsfunk den Anforderungen genügt.

2. Kurzfassung

Den Bestimmungen der StVZO wurden die adäquaten bzw. kongruierenden Festlegungen der EBO gegenübergestellt. Hinzugezogen wurde das Modul 931.01 der DB. Innerhalb der Hauptgruppen der StVZO fand eine sachbezogene Betrachtung in gewählten Untergruppen statt.

In 9 Untergruppen konnte eine vollständige Übereinstimmung festgestellt werden. Teilweise im Text, aber auf jeden Fall im Sinne der Bestimmung. Es sind dies die grün umrandeten Felder. Hierzu sind keinerlei weiteren Schritte einzuleiten.

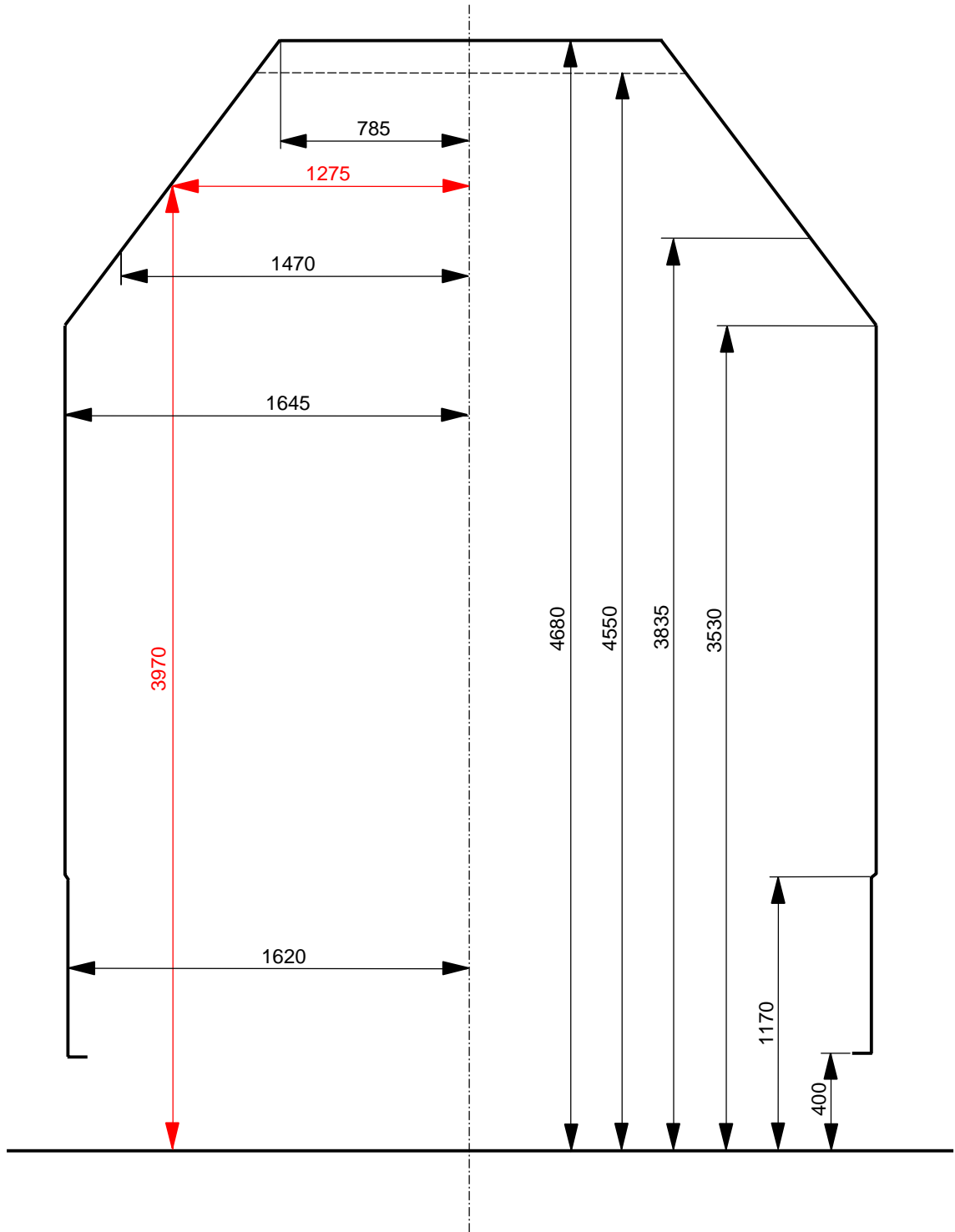
Bei 13 Untergruppen wurden z.T. erhebliche Unterschiede in den Vorschriften ermittelt. Von einfachen Fragen der Auslegung bis zu komplizierten Sachfragen besteht hier Klärungsbedarf. Die Unstimmigkeiten sind aber ausnahmslos lösbar und nicht von fundamentaler Bedeutung. Dabei sind bahntechnische Fragen in der Überzahl.

Die blau eingerahmten Komplexe sind im Vorfeld weiterer Schritte in Richtung Konstruktion, Designarbeit und wirtschaftlicher Erörterungen mit Fachgremien zu besprechen.

2 Komplexe könnten bei restriktiver Auslegung des Moduls 931.01 zu Problemen führen. Eine genaue Analyse und Beratung mit Verantwortungsträgern der zuständigen Gremien ist aber erst möglich, wenn die Grundkonstruktion soweit steht, dass Freiräume der Achsen im angehobenen Zustand exakt ermittelt werden können. Dieser Komplex erhielt eine rote Umrandung.

In Anlage 5 werden die mit der Bahn zu klärenden Fragen stichpunktartig herausgearbeitet (blaue und rote Umrandung). Die Fakten werden aufgelistet und Lösungsziele genannt. Nach der Grundsatzberatung mit den Bahnspezialisten ist zu entscheiden, ob und wann eine ähnliche Konsultation auch mit Fachleuten des Straßenverkehrs zu führen ist.

3. Lichtraumprofil Zweiwegefahrzeug Straße / Schiene nach EBO



4. Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffenden Paragraphen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze

StVZO (Fahrzeuge. II. Zulassungsverfahren und III. Bau- und Betriebsvorschriften)

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
16	1	X		x	3
	2	X		X	3
17	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
18	1	X		X	3
	2		X		
	3		X		
	4		X		
	5		X		
	6		X		
	7		X		
19	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5	X		X	3

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
19	6	X		X	3
	7	X		X	3
20	1		X		
	2		X		
	3		X		
	4		X		
	5		X		
	6		X		
21			X		
21a			X		
21b			X		
21c			X		
22	1		X		
	2		X		
	3		X		
22a	1		X		
	2		X		

StVZO, Bogen Nummer 2

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
22a	1		X		
	2		X		
	3		X		
	4		X		
	5		X		
	6		X		
23	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5		X		
	6	X		X	3
	7	X		X	3
	8	X		X	3
	9	X		X	3
24		X		X	3
25	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
25	5	X		X	3
26			X		
27	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5	X		X	3
	6	X		X	3
	7	X		X	3
27a				X	
28	1	X		X	4
	2	X		X	4
	3	X		X	4
	4	X		X	4
	5	X		X	4
	6	X		X	4
29	1	X		X	4
	2	X		X	4
	3	X		X	4
	4	X		X	4

StVZO, Bogen Nummer 3

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
29	5	X		X	4
	6	X		X	4
	7	X		X	4
	8	X		X	4
	9	X		X	4
	10	X		X	4
	11	X		X	4
	12	X		X	4
	13	X		X	4
29a	1	X		X	5
	2	X		X	5
	3	X		X	5
	4	X		X	5
29b		X		X	5
29c	1	X		X	5
	2	X		X	5
	3	X		X	5
29d	1	X		X	5
	2	X		X	5
	3	X		X	5

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
29d	4	X		X	5
	5	X		X	5
29°		X		X	5
29f			X		
29g		X		X	5
29h		X		X	5
30	1	X		X	4
	2	X		X	4
	3	X		X	4
	4	X		X	4
30a	1	X		X	4
	2		X		
	3		X		
30b		X		X	4
30c	1	X		X	4
	2		X		
	3		X		
31	1	X		X	4
	2	X		X	4
31a			X		

StVZO, Bogen Nummer 4

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
31b		X		X	4
31c			X		
32	1	X		X	6
	2	X		X	6
	3	X		X	6
	4		X		
	5	X		X	6
	6	X		X	6
	7	X		X	6
	8	X		X	6
	9		X		
32a			X		
32b			X		
32c			X		
32d		X		X	6
33			X		
34	1	X		X	6
	2	X		X	6
	3	X		X	6
	4	X		X	6

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
34	5	X		X	6
	6		X		
	7		X		
	8	X		X	6
	9			X	
	10			X	
	11	X		X	6
34a	1	X		X	6
	2	X		X	6
	3	X		X	6
	4	X		X	6
	5	X		X	6
	6	X		X	6
	7	X		X	6
34b			X		
35		X		X	7
35a	1	X		X	7
	2		X		
	3		X		
	4		X		

StVZO, Bogen Nummer 5

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
35°	5		X		
	6		X		
	7	X		X	7
	8		X		
	9		X		
	10		X		
	11		X		
35b	1	X		X	7
	2	X		X	7
35c		X		X	7
35d	1	X		X	9
	2	X		X	9
	3	X		X	9
	4	X		X	9
	5		X		
35°	1	X		X	8
	2	X		X	8
	3	X		X	8
	4	X		X	8
	5	X		X	8

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
35°	6	X		X	8
	7	X		X	8
35f	1	X		X	8
	2	X		X	8
	3	X		X	8
35g	1	X		X	9
	2	X		X	9
	3	X		X	9
	4	X		X	9
35h	1	X		X	9
	2		X		
	3	X		X	9
	4	X		X	9
35i	1	X		X	9
	2	X		X	9
35j		X		X	9
36	1	X		X	9
	2	X		X	9
	3		X		
	4		X		

StVZO, Bogen Nummer 6

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
36	5		X		
36a	1	X		X	9
	2		X		
	3		X		
37	1		X		
	2	X		X	9
38	1	X		X	10
	2	X		X	10
	3		X		
	4		X		
38a	1		X		
	2		X		
	3		X		
38b			X		
39		X		X	10
39a	1	X		X	10
	2	X		X	10
	3	X		X	10
40	1	X		X	10
	2	X		X	10

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
40	3		X		
41	1	X		X	11
	2		X		
	3		X		
	4	X		X	11
	5	X			
	6		X		
	7	X		X	11
	8		X		
	9		X		
	10		X		
	11		X		
	12	X		X	11
	13		X		
	14	X		X	11
	15	X		X	11
	16		X		
	17		X		
	18	X		X	11
	19	X		X	11

StVZO, Bogen Nummer 7

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
41a	1		X		
	2		X		
	3		X		
41b	1	X		X	11
	2	X		X	11
	3		X		
	4		X		
	5		X		
42			X		
43	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3	X		X	12
	4	X		X	12
	5	X		X	12
44	1		X		
	2		X		
	3		X		
45	1	X		X	12
	2		X		
	3	X		X	12

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
45	4	X		X	12
46	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3	X		X	12
	4	X		X	12
47	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3		X		
	4		X		
	5		X		
	6	X		X	12
	7		X		
	8		X		
	9	X		X	12
47a	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3	X		X	12
	4	X		X	12
	5	X		X	12
	6	X		X	12

StVZO, Bogen Nummer 8

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
47a	7	X		X	12
	8		X		
47b		X		X	12
47c		X		X	12
47d		X		X	12
48		X		X	12
49	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3	X		X	12
	4	X		X	12
	5	X		X	12
49a	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3	X		X	13
	4	X		X	13
	5	X		X	13
	6	X		X	13
	7	X		X	13
	8	X		X	13
	9	X		X	13

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
49a	10		X		
	11	X		X	13
50	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3	X		X	13
	4	X		X	13
	5	X		X	13
	6	X		X	13
	7	X		X	13
	8	X		X	13
	9	X		X	13
	10	X		X	13
51	1	X		X	13
	2		X		
	3	X		X	13
	4		X		
51a	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3	X		X	13
	4	X		X	13

StVZO, Bogen Nummer 9

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
51a	5		X		
	6	X		X	13
	7		X		
51b	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3	X		X	13
	4		X		
	5	X		X	13
	6	X		X	13
51c	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3	X		X	13
	4	X		X	13
	5	X		X	13
52	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3		X		
	4		X		
	5		X		
	6		X		

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
52	7		X		
	8	X		X	13
	9		X		
	10		X		
52a	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3		X		
	4	X		X	13
	5	X		X	13
	6		X		
53	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3		X		
	4	X		X	13
	5	X		X	13
	6		X		
	7		X		
	8	X		X	13
	9	X		X	13
	10		X		

StVZO, Bogen Nummer 10

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite	
53a	1	X		X	13	
	2	X		X	13	
	3	X		X	13	
	4	X		X	13	
53b			X			
53c			X	X	13	
53d	1	X		X	13	
	2		X			
	3	X		X	13	
	4	X		X	13	
	5	X		X	13	
	6			X		
54	1	X		X		
	2	X		X	13	
	3	X		X	13	
	4	X		X	13	
	5			X		
	6	X		X	13	
54a	1	X		X	13	
	2	X		X	13	

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
54		X		X	13
55	1	X		X	13
	2	X		X	13
	3		X		
	4	X		X	13
	5		X		
	6		X		
55a	1	X		X	13
	2	X		X	13
56	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3		X		
	4	X		X	14
	5	X		X	14
57	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3	X		X	14
57a	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3	X		X	14

StVZO, Bogen Nummer 11

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
57b		X		X	14
57c	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3		X		
	4	X		X	14
	5	X		X	14
57d	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3	X		X	14
	4		X		
	5		X		
	6		X		
	7		X		
	8		X		
	9		X		
58	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3		X		
	4	X		X	14
	5	X		X	14

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
59	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3		X		
59a			X		
60	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3		X		
	4	X		X	14
	5		X		
	6	X		X	14
	7	X		X	14
60a	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3	X		X	14
	4	X		X	14
62		X		X	14

5. Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffenden Paragraphen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze

EBO (Erster Abschnitt, Allgemeines und zweiter Abschnitt, Fahrzeuge)

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
1	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
2	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
3	1	X		X	3
	2	X		X	3
18	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5	X		X	3
19	1	X		X	6
	2	X		X	6

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
21	1	X		X	9
	2	X		X	9
	3	X		X	9
	4	X		X	9
	5	X		X	9
22	1	X		X	6
	2	X		X	6
	3	X		X	6
	4	X		X	6
	5	X		X	6
	6	X		X	6
	7	X		X	6
	8	X		X	6
23	1	X		X	11
	2	X		X	11
	3	X		X	11
	4	X		X	11

EBO, Bogen Nummer 2

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
23	5	X		X	11
24	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3	X		X	12
25	1		X		
	2		X		
	3		X		
	4		X		
28	1	X		X	15
	2	X		X	8
	3	X		X	8
	4	X		X	8
	5		X		
	6	X		X	10
	7	X		X	9
	8	X		X	8
	9	X		X	

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
28	10	X		X	
	11		X		
	12		X		
	13	X		X	
	14	X		X	14
32	1	X		X	3
	2	X		X	4
	3	X		X	4
	4	X		X	4
33	1	X		X	4
	2		X		
	3		X		
	4	X		X	4
	5	X		X	4

6. Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffenden Paragraphen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze

Modul 931.0001 und 931.0003

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
1	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
2	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5	X		X	3
	6	X		X	3
	7	X		X	3
	8	X		X	3
	9	X		X	3
	10	X		X	3
3	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
3	4	X		X	3
	5	X		X	3
	6	X		X	3
	7	X		X	3
	8	X		X	3
4	1	X		X	
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5	X		X	3
	6	X		X	3
	7	X		X	3
	8	X		X	3
	9	X		X	3
	10	X		X	3
	11	X		X	3
	12	X		X	3

Modul 931.0001 und 931.0003, Bogen Nummer 2

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
4	13	X		X	3
5	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
	4	X		X	3
	5	X		X	3
	6	X		X	3
	7	X		X	3
	8	X		X	3
	9	X		X	3
	10	X		X	3
6	1	X		X	3
	2	X		X	3
	3	X		X	3
7	1		X		
	2		X		
	3		X		
8	1	X		X	14
	2	X		X	14
	3	X		X	14

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
8	4	X		X	14
	5	X		X	14
	6	X		X	14
	7	X		X	14
	8	X		X	14
	9		X		
9	1	X		X	14
	2	X		X	14
10	1		X		
	2		X		
	3		X		
	4	X		X	14
	5		X		
	6		X		

Modul 931.0001 und 931.0003, Bogen Nummer 3

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
1	1	X		X	6
	2	X		X	6
	3	X		X	6
2	1	X		X	6
	2	X		X	6
	3	X		X	6
	4	X		X	6
	5	X		X	6
	6	X		X	6
	7	X		X	6
	8	X		X	6
	9	X		X	6
	10	X		X	6
	11		X		
	12		X		
	13		X		
	14		X		

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
2	15		X		
3	1	X		X	7
	2	X		X	7
	3	X		X	7
	4	X		X	9
	5	X		X	9
	6	X		X	9
	7	X		X	9
	8	X		X	9
	9	X		X	9
	10	X		X	9
	11	X		X	6
	12	X		X	6
	13	X		X	6
	14	X		X	6
	15	X		X	6
	16	X		X	6

Modul 931.0001 und 931.0003, Bogen Nummer 4

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
3	17	X		X	6
	18	X		X	6
	19	X		X	6
	20	X		X	10
	21	X		X	10
	22	X		X	10
	23	X		X	10
4	1	X		X	12
	2	X		X	12
	3	X		X	12
	4	X		X	12
	5		X		
	6	X		X	12
	7		X		
	8		X		
	9		X		
	10		X		
	11		X		
	12		X		
	13		X		

Punkt	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
4	14	X		X	10
	15	X		X	10
	16	X		X	10
	17	X		X	10
	18		X		
	19		X		
	20		X		
	21		X		
	22		X		
	23		X		
	24		X		
	25		X		
	26		X		
	27		X		
	28		X		
	29		X		
	30		X		
	31		X		
5	1	X		X	11
	2	X		X	11

7. Erfassungsbogen zum Abgleich der zutreffenden Paragraphen aller verwendeten Vorschriften und Gesetze
BO Strab (Erster Abschnitt - Allgemeines / Fünfter Abschnitt - Fahrzeuge)

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
1	1	X			3
	2	X			3
	3	X			3
	4	X			3
	5	X			3
	6	X			3
	7	X			3
	8	X			3
	9	X			3
	10	X			3
2	1	X			3
	2	X			3
3	1	X			3
	2	X			3
	3	X			3
	4	X			3
	5	X			3

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
	6	X			3
4	1		X		
	2	X			4
	3	X			4
	4		X		
5	1	X			4
	2	X			4
	3	X			4
	4	X			4
	5	X			4
6		X			4
33	1	X			6
	2	X			6
	3	X			9
	4	X			10
	5	X			10
	6	X			8

BO Strab, Bogen Nummer 2

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
33	7	X			9
	8		X		
	9	X			9
	10	X			7
	11	X			7
	12	X			8
34	1	X			7
	2	X			7
	3	X			7
	4	X			8
	5	X			9
35	1	X			7
	2	X			7
	3	X			7
36	1	X			11
	2	X			11
	3	X			11

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
	4	X			11
	5	X			11
	6		X		
	7		X		
	8		X		
	9	X			11
37		X			7
38	1	X			14
	2	X			14
	3	X			14
39			X		
40	1	X			13
	2	X			13
	3	X			13
	4	X			13
	5	X			13
	6	X			13

BO Strab, Bogen Nummer 3

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
40	7		X		
41	1	X			12
	2	X			12
	3	X			12
42	1		X		
	2		X		
43	1	X			8
	2	X			8
	3	X			8
	4	X			8
	5	X			8
	6	X			8
	7	X			8
44	1	X			7
	2	X			7
	3	X			7
	4	X			7

Nr. des §	Absatz	Zu beachten	Trifft nicht zu	In Unters. beachtet	Auf Seite
	5		X		
45	1	X			13
	2	X			13
	3	X			13
	4	X			13
	5	X			7
46	1	X			9
	2		X		
	3	X			9
	4	X			9
	5		X		
47	1	X			8
	2	X			8
	3	X			8
48	1	X			9
	2		X		

8. Klärungsbedarf mit Verantwortlichen der Bahn zu Fragen der Auslegung der EBO und des Moduls 931.01.

orschrift	§ oder Pkt.	Seite d. Ausarb.	Erläuterung zum Klärungsbedarf	Zielstellung der Erörterung
EBO Modul	32; 33; 8	4	Bei der Bahn gibt es nicht so exakte Vorschriften wie in der StVZO.	Anerkennung des Vorschriftenwerkes der StVZO nach inhaltlicher Erweiterung durch die Bahn.
HPfIG	1 - 14	5	Die Versicherungsvorschriften der Bahn und der Straßen dienen dem gleichen Zweck, sie sind aber unterschiedlich strukturiert.	Nach Information der Bahn sind mit einer potentiellen Versicherung die Modalitäten zu klären.
Modul 931.0003	1 (1-3)	6	Für nicht genehmigte Bauelemente müssen Ausnahmegenehmigungen eingeholt werden.	Das trifft auf die geplanten Achsen und Radsätze zu. Möglicherweise auf weitere Elemente. Der Verfahrensweg sollte erörtert werden.
Modul 9310003	2 (1-10)	6	Bei einer Spurweite größer 1570 mm wird die max. zul. Geschwindigkeit auf 20 km/h begrenzt.	Unter Vorlage einer Skizze sollte diese Forderung unbedingt erörtert werden.
Modul 931.0003	3 (11-19)	6	Es existiert die Forderung, dass die zul. Geschwindigkeit in beiden erreicht werden muss.	Es wäre zu klären, ob dies mit dem geplanten Fahrzeug überhaupt realistisch ist.

EBO	28	8	Bei der Bahn wird ein druckdichtes Türsystem gefordert.	Wegen zu geringer max. zul. Geschwindigkeit sollte diese Forderung fallen gelassen werden.
EBO Modul	37 10	9	Unterschiedliche Vorschriften für "Erste Hilfe-Ausrüstung"	Harmonisierung der Vorschriften
EBO Modul	28 (6) 4 (14, 17)	10	Hohe Sicherheitsforderung der Bahn in Bezug auf Spiegelglas und Frontscheibendicke.	Ziel sollte die Akzeptanz der StVZO auf diesem Gebiet sein.
EBO Modul	23, 25, 42, 43 5 (1-19)	11	Die Festlegungen zu den Bremsanlagen differieren.	Hier sind Detailabsprachen erforderlich.
Modul 931.0003	4 (6)	12	Hier wird ein Bahnräumer für Zweiwegfahrzeuge gefordert.	Konstruktiv und kostenseitig eine problematische Forderung.
Signalbuch Modul	45, 46 6 (1-10)	13	Die E-Anlage erfordert Absprachen in Bezug auf die Vereinbarkeit der unterschiedlichen Vorschriften.	Die Einzelfragen sind im Bericht aufgelistet. Ziel ist die Erstellung eines Schaltplanes.
EBO Modul	28 (1) 6 (11, 12)	14	Es sind unterschiedliche Messgeräte für Datenaufzeichnung (Fahrtenschreiber) vorgesehen.	Die Anerkennung eines Gerätes für beide Fahrwege ist anzustreben.

EBO Modul	28 (14) 8 - 10	14	Für Zweiwegfahrzeuge ist eine bestimmte Farbgebung vorgesehen.	Da es sich nicht um ein Arbeitsfahrzeug handelt, ist eine freie Farbwahl anstrebenswert.
EBO Modul	28 (1) 5 (19)	15	Zugbeeinflussung, Sicherheitsfahrerschaltung und Zugfunk sind bahnspezifische Ausrüstungen.	In der Beratung sollte die Zielstellung eine weitgehende Vermeidung dieser Ausrüstung sein.

Generell sollten in den zu erwartenden Beratungen mit Bahnspezialisten auch folgende allgemeinen Fragen erörtert werden:

- Gelten alle Bestimmungen des Moduls 931.01 uneingeschränkt oder ist eine sinnmäßige Auslegung zu erwarten?
- Welche Unterlagen sind in welcher Form für Ausnahmegenehmigungen vorzulegen?
- Wie komplex bzw. detailliert werden Konstruktionsunterlagen für die Zulassung ein Einstellung benötigt?
- Sind besondere Materialnachweise erforderlich?
- Wo sind eisenbahntypische Bauteile erhältlich (z. B. Makrofon, Sicherheitsfahrerschaltung usw.)?
- Gibt es weitere Vorschriften, Festlegungen, Module oder ähnliches, was zum derzeitigen Zeitpunkt schon relevant wäre?

IV. Literatur

Bauanforderung für Zweiwegefahrzeug,
Richtlinie der Deutschen Bahn Nr. 931.0003 vom 01.03.1999

Betriebsordnung für Kraftfahrzeuge

Eisenbahn- Bau- und -Betriebsordnung

Foth J.; Gazyakan Ü., Dominke P.; Ruck G.; Moderne Lenksysteme für zukünftige Anforderungen

In: VDI-Bericht 1533 (2000), Seite 367ff.

Göddert, K. P; Manias, P.; Fahrerlos und funkgesteuert

In: Fördertechnik 1997, S. 29-32

Görgler, J.; Kritische Situationen ...

In: Busmagazin, 4 / 2000, S. 6 ff.

Hondius, H.; Eine Niederflurentwicklung der belgischen Bombardier-BN-Werke In: Der Nahverkehr 4/90, S. 68ff.

Hondius, H.; Zwischenlösungen oder "hybride" oder "bimodale" Verkehrsmittel

In: Der Nahverkehr 1-2/1998, S. 40ff.

<http://www.depanet.de>

<http://www.webpac.slub-dresden.de>

<http://www.vdi.de>

<http://www.fiz-karlsruhe.de>

<http://www.goetting.de>

Kommentar zur Eisenbahnbau- und Betriebsordnung, 3. Auflage 1996

Leitdraht zur Spurführung

In: Werksschrift der Firma Götting KG Lehrte/Röddensen

Machbarkeitsstudie Zweiwegefahrzeug,

Projektnummer 5565/850 des Freistaates Sachsen

Müller, N.; Autonomes Manövrieren und Navigieren mit einem sehenden Straßenfahrzeug

In: VDI Fortschritt-Berichte, Nr.281 / 1996, Reihe 12 / Fahrzeugtechnik

Neoplan – Die Lenkstrategien der Megaklasse

In: Neoplan aktuell, Werksschrift, März 1997

Offenlegungsschrift DE 197 17 829 A 1
Offenlegungsschrift DE 197 39 102 A 1
Offenlegungsschrift DE 197 48 127 A 1
Offenlegungsschrift DE 197 55 075 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 03 662 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 16 785 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 35 556 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 36 778 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 36 966 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 42 176 A 1
Offenlegungsschrift DE 198 48 192 A 1
Offenlegungsschrift DE 198,10 772 A 1

Patentschrift DE 15 48 536 C 1
Patentschrift DE 197 21 504 C 1
Patentschrift DE 197 32 784 C1
Patentschrift DE 198 22 114 C1

Pütz, R.; Mechanische Spurabtastung der O-Bahn
In: VDI Berichte 1545, Gesamtverkehrsforum 2000, S. 67ff.

Schreiber, R.; Civis, Citaro & Co.
In: Nahverkehrspraxis, 3/2000, S. 12ff.

Schwarz, A.; Fahrbericht des Neoplan N 6121 – Station Zukunft
In: Busmagazin / Bus-Fahrt, 4/1999, S. B4-B9

Straßenverkehrsrecht mit seinen Detailfestlegungen, Loseblatt-Textsammlung des
Verlages C.H.Beck München vom 01.10.2000

von Wedel, H.; In Dänemark fahren Pkw bald bimodal
In: VDI – Nachrichten Nr.39, September 1998

Yap, A.; Beitrag zur mathematischen Modellierung der Spurfindung im
Fahrzeugführungsproblem
In: VDI Fortschritt-Berichte, Nr. 398 / 1999, Reihe 12 / Fahrzeugtechnik

ZF-Lenksysteme, ZF-Servocom RAS-EC
In: Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, Werksschrift, 1999

V. Anlagen

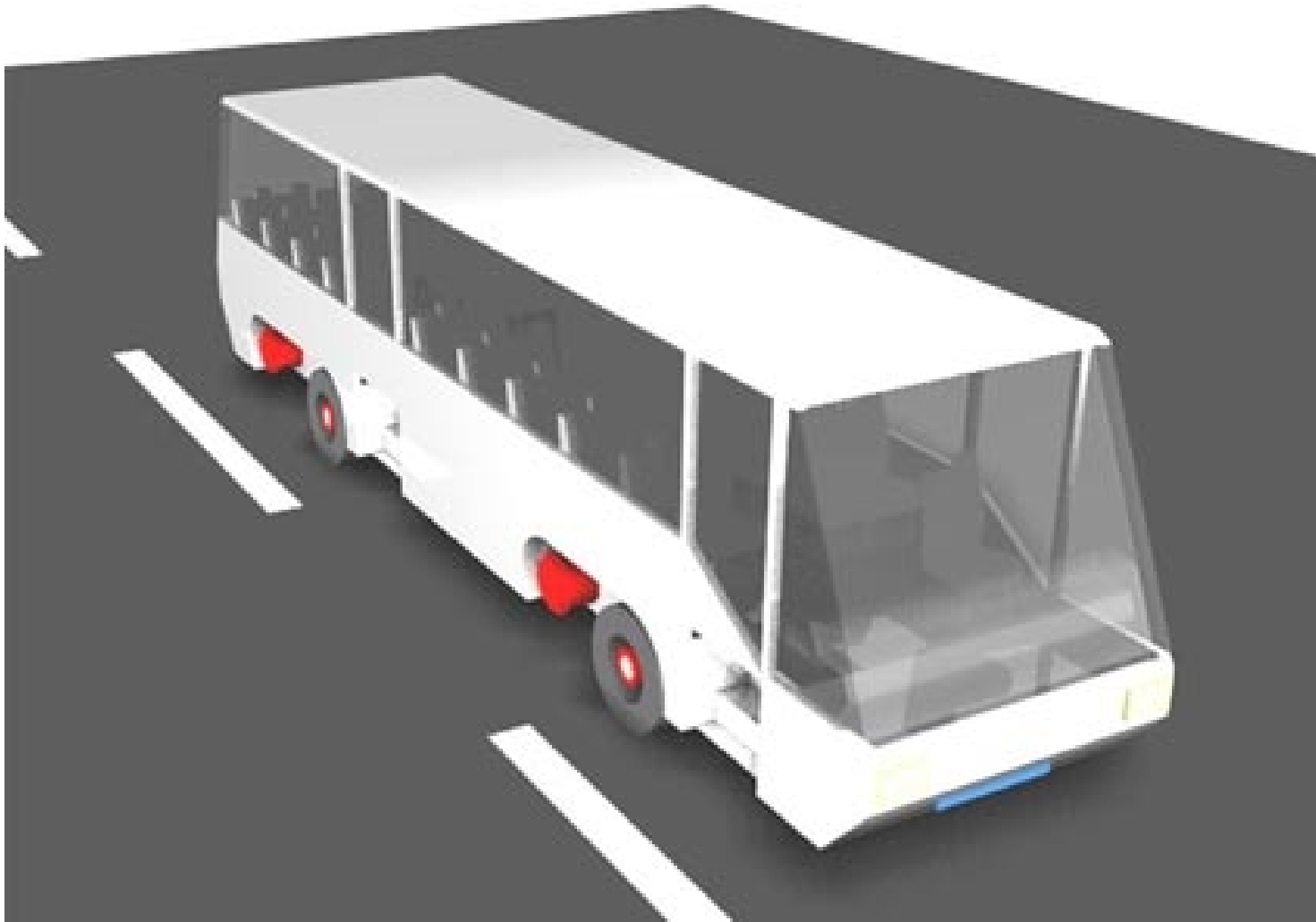
Anlage 1



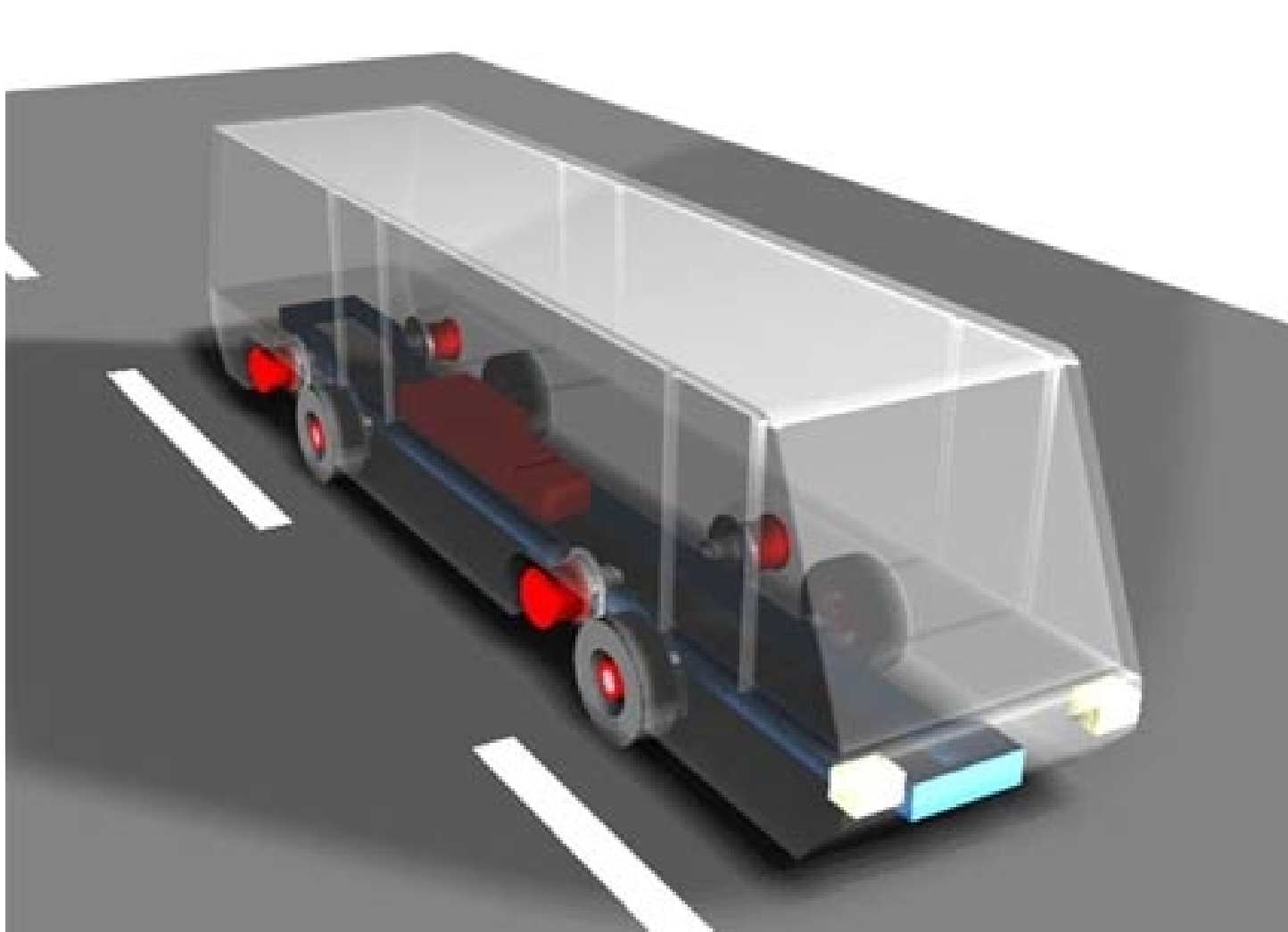
**Zweiwegfahrzeug Straße / Schiene
für den öffentlichen Personennahverkehr**



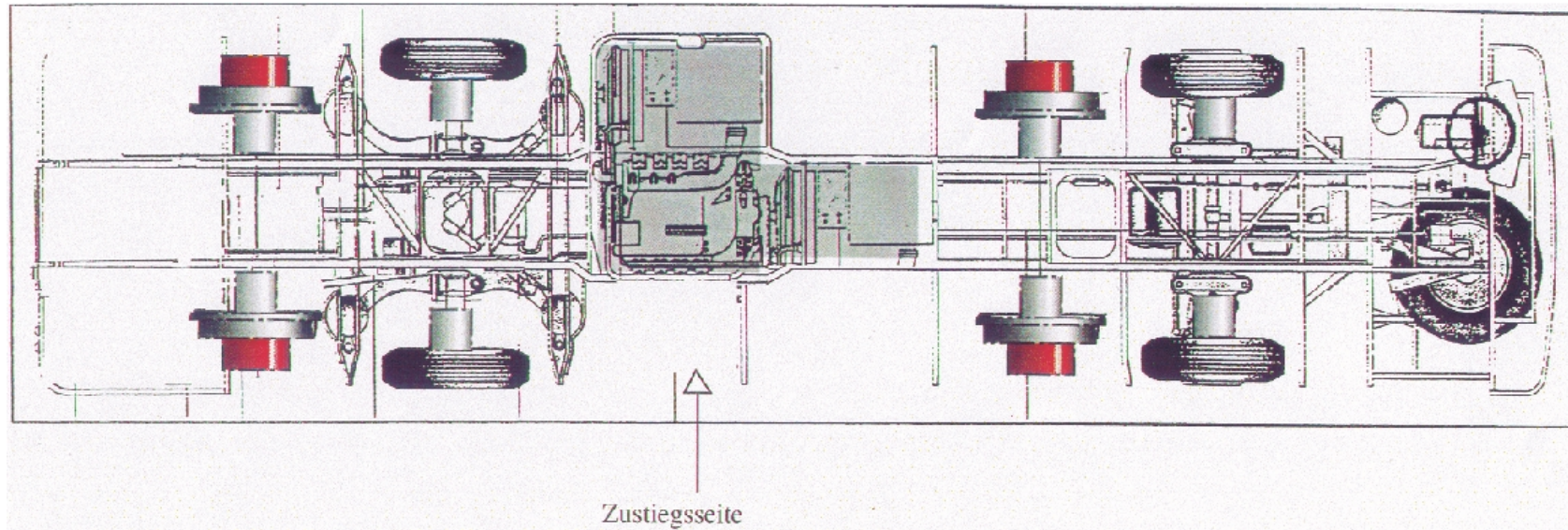
Seitenansicht Zweiwegefahrzeug Straße / Schiene



Schematischer Karosserieaufbau Zweiwegefahrzeug Straße / Schiene

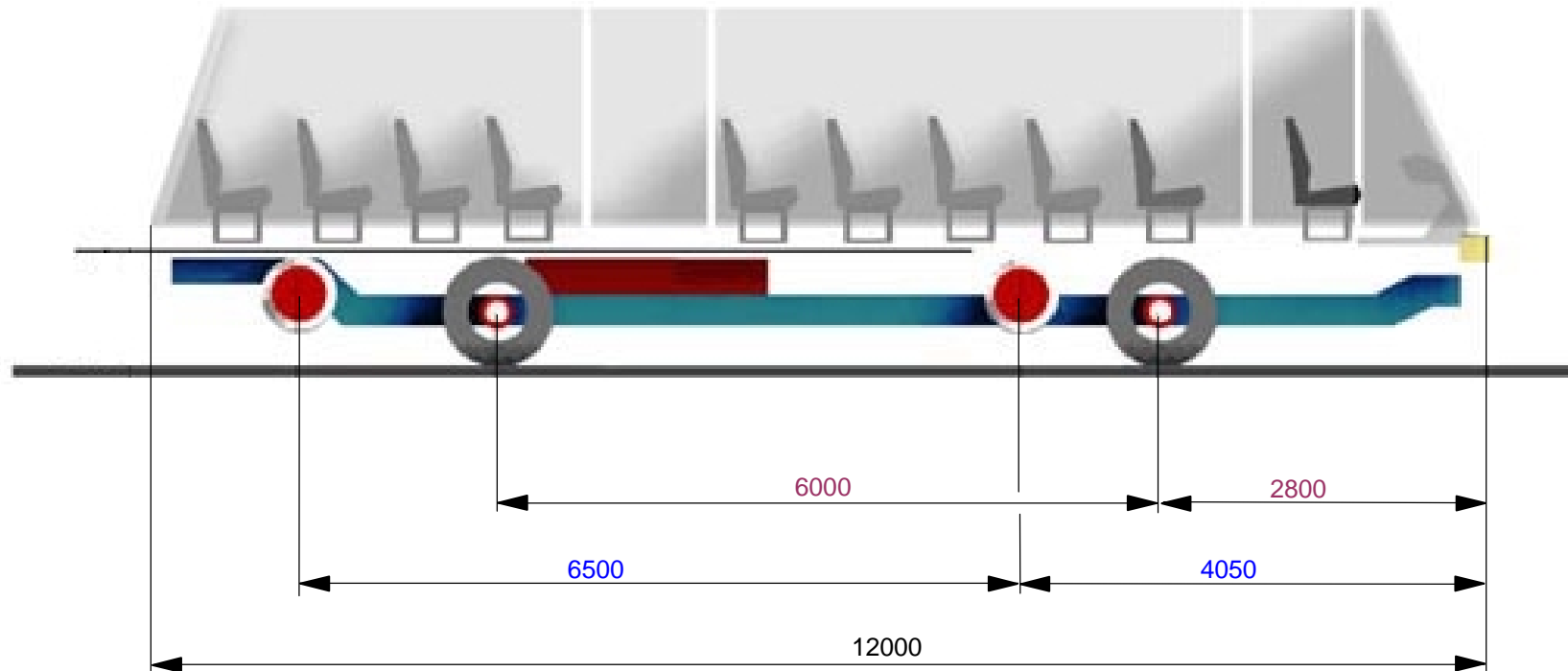


Schematischer Aufbau der Hauptgruppendes Zweizegefahrzeuges Straße / Schiene



Schema des Fahrgestells des Zweiwegefahrzeugs

- Straßenfahrwerk
- Schienenfahrwerk



Seitenansicht mit Radständen Schienen- und Straßenfahreinrichtung