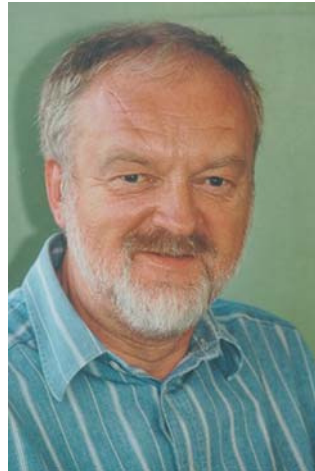


**Eisenbahnlehrstühle in Deutschland**

# TU Berlin: Ganzheitliche Betrachtung des Systems Schienenverkehr



Foto: Sebastian Koch



**Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Siegmann**, Leiter Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb der Technischen Universität Berlin

*Warum ist der Schienenfahrweg so teuer? Warum fahren Züge auf Signalen? Wie kann mehr Verkehr auf die umweltfreundliche Schiene verlagert werden?*

*Dies sind Fragen, mit denen sich das Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb (FG SFWBB) der Technischen Universität Berlin in Forschung und Lehre beschäftigt. Das Fachgebiet ist angesiedelt im Institut für Land- und Seeverkehr (ILS) der Fakultät V Verkehrs- und Maschinensysteme. Damit wird bereits deutlich, dass der Systemgedanke im Vordergrund steht.*

*Das FG SFWBB war von 1997 bis 2002 eine Stiftungsprofessur der DB AG, die damit für einen guten Start nach langer Vakanz der Professur gesorgt hat. Heute fördert die DB AG am Fachgebiet eine Stelle für einen wissenschaftlichen Mitarbeiter mit dem Ziel der Promotion. Insgesamt zählt das Team 16 Personen. Darüber hinaus wird zahlreichen Studierenden die Möglichkeit zur Mitarbeit an Forschungsprojekten eröffnet, was für diese eine studiennahe Möglichkeit bedeutet, ihr Studium zu finanzieren und erste Praxiserfahrungen zu sammeln.*

*Zum FG gehören ein Prüflabor für Fahrwegkomponenten sowie ein Lehrstellwerk (gekoppelt mit einer Modelleisenbahn) und Außenanlagen mit Signal-, Stellwerks- und Oberbauanlagen zur praktischen Vermittlung von Lehrinhalten.*



Ein Bestandteil der Lehre an der TU Berlin ist die „Große Sommerexkursion“ die im Wechsel jährlich von einem der Eisenbahnlehrstühle angeboten wird. Die letzte Exkursion führte 2005 nach Bayern, wo unter anderem die Bayerische Zugspitzbahn besucht wurde. Foto: Sebastian Koch.

## Lehre

Im Vordergrund der universitären Ausbildung steht die Vermittlung der Zusammenhänge im Gesamtsystem Bahn, mit seinen konstruktiven, betrieblichen, planerischen und wirtschaftlichen Abhängigkeiten.

Die Lehre dieses Fachgebietes ist integriert in den Studiengang Verkehrswesen der TU Berlin. Er beinhaltet eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Verkehr und vereinigt somit sowohl die Fahrzeugtechnik wie Infrastrukturaspekte oder den Betrieb und die Wirtschaftlichkeitsaspekte aller Verkehrsträger. Verkehr ist hier nicht eine Vertiefungsrichtung des Maschinenbaus oder des Bauingenieurwesens, sondern die Seele des gesamten Studienganges, der Verkehrsweseningenieure ab dem ersten Semester ausbildet.

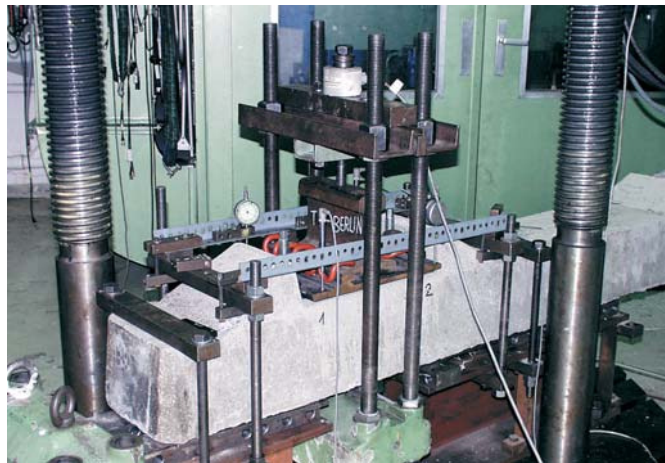
Die Lehrangebote sind teils im Bachelorstudium (bis 6. Semester), teils im Masterbereich angesiedelt und darüber hinaus auch Angebot für viele andere Studiengänge, so z.B. Wirtschaftsingenieurwesen, Bauingenieurwesen und Geografie.

In der Lehre werden alle wichtigen Gebiete des Bahnverkehrs in Grundlagenfächern (Planung, Entwurf und Konstruktion von Anlagen spurgeführter Verkehrssysteme, Bahnbetrieb incl. der Sicherungs- und Betriebsleittechnik) behandelt. Den Bachelorstudenten wird dieses kompakt in einer Grundlagenveranstaltung vermittelt.

Die Kenntnisse der Konstruktion des Schienenfahrweges werden in einer Lehrveranstaltung insbesondere für Bauingenieure vertiefend vermittelt.

In den Vertiefungsfächern werden interessante Felder des Bahnverkehrs näher beleuchtet. Dazu gehören der Schienengüterverkehr, Produktionsplanung im Schienenpersonenverkehr, die modernen Informationssysteme im öffentlichen Verkehr und die Ausschreibungspraxis öffentlicher Verkehrsleistungen im SPNV.

Der Betrieb von Stadtschnellbahnen wird mit Unterstützung der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) gelehrt.



Fahrweglabor: Ein Labor, in dem Fahrwegkomponenten untersucht werden können, wird für die Drittmittelforschung und Zulassungsuntersuchungen genutzt. Hier dargestellt eine Festigkeitsuntersuchung an einer Betonschwelle. Foto: Reinhold Wassmann.

Die Lehrveranstaltung Systembetrachtungen des Schienenfahrweges wird mit Unterstützung der DB AG angeboten. Hier wird Wissen aus erster Hand zu Wechselwirkungen, zur Qualitätssicherung und Optimierung des Fahrweges vermittelt. Zusätzlicher Praxisbezug wird durch ein- oder mehrtägige Exkursionen für die Studierenden hergestellt. Des Weiteren werden Akteure aus der Praxis und Gastwissenschaftler zu einzelnen Lehrveranstaltungen eingeladen.

Die schon vorhandene Integration von wissenschaftlichen Simulationssystemen und Laboruntersuchungen in die Lehre soll weiter intensiviert werden. Auch das Lehrstellwerk wird modernisiert und zu einem Betriebsfeld ausgebaut. Jährlich werden am Fachgebiet etwa 150 Studenten in den unterschiedlichen Fächern ausgebildet. Mit der Abgabe einer Diplomarbeit erhalten pro Jahr etwa 15 bis 20 Studierende ihren „Ritterschlag“ zum Diplom-Ingenieur.

## Forschung am FG SFWBB

Die Auftraggeber bzw. Förderer der intensiven Forschung am Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb der TU Berlin sind die Industrie, die Ministerien von Bund und Ländern sowie Stiftungen und die DFG. Unsere Partner sind andere Fachgebiete und Institute sowie die Industrie.

In der Forschung kristallisierten sich drei Schwerpunkte heraus:

- Erforschung und Optimierung von Schienenfahrwegkomponenten,
- Optimierung betrieblicher Abläufe und der Netznutzung im Schienenverkehr,
- Strategische Untersuchungen zur Optimierung des öffentlichen Verkehrssektors.

## LCC-Forschung

Der Fahrweg des Schienenverkehrs ist als System sehr komplex, langlebig und teuer. Um so mehr gilt es, die Kapazitäten optimal auszunutzen und mit modernen Techniken einen in seinen Lebenszeitkosten (Life cycle cost, LCC) preiswerten Fahrweg vorzuhalten, der den Anforderungen der Fahrwegkunden, die die Züge organi-



*Hammeranregung Kontilager: Auf der Freifläche des Fachgebietes wurden 2004 Schalluntersuchungen mit einer kontinuierlichen Lagerung einer Festen Fahrbahn des Herstellers Max Bögl durchgeführt.  
Foto: Reinhold Wassmann.*

sieren, und damit auch der Nutzer (Passagiere des Personenverkehrs, Güterverkehrskunden) gerecht wird. Langfristig und auf Basis diverser Projekte wurden ein LCC-Tool und eine diesbezügliche Datenbank aufgebaut, mit denen verschiedene Fragestellungen am Fahrweg und bei den Fahrzeugen untersucht werden können. Mit dem Modell ist es möglich, die Kosten zu ermitteln, die über den gesamten Produktzyklus (Planungs-, Erstellungs-, Instandhaltungs- und Rückbaukosten) anfallen. Mit Hilfe des Modells ist es möglich, verschiedene Oberbaukonstruktionen bei gleichen Anforderungen miteinander zu vergleichen. Diese Modelle sind auch speziell anwendbar für Neben- und Regionalnetze.

## Instandhaltungsoptimierung

Zur Lärmreduktion und zur Vermeidung größerer Schäden an der Schiene werden diese von Zeit zu Zeit geschliffen. Eine moderne Methode dazu ist das HighSpeedGrinding (HSG), bei dem die Schleiffahrzeuge mit Streckengeschwindigkeit verkehren sollen und sich damit gut dem Fahrplan anpassen. Das FG untersucht grundsätzlich das Schleifen und beim HSG die LCC und die Lärmreduktionsmöglichkeiten dadurch.

Im Rahmen der erwähnten Promotionsförderung durch die DB AG werden die Instandhaltungsarbeiten an der Schotterfahrbahn durchleuchtet, insbesondere das Stopfen.

## Dynamik des Oberbaus und Lärmreduktion

Die Akzeptanz spurgeführter Verkehrssysteme lässt sich für die Kunden als Nutznießer, die Anwohner als Betroffene sowie für die Betreiber deutlich erhöhen, indem die Dynamik zwischen Fahrzeug und Fahrweg minimiert wird. Die Reduzierung der Schwingungen im nieder- und hochfrequenten Bereich führt durch mehr Fahrkomfort und weniger Lärm zu mehr Qualität für den Fahrgast und Akzeptanzerhöhung bei den Anwohnern. Für den Betreiber ermöglichen entsprechende Maßnahmen weniger Verschleiß und damit längere Wartungsintervalle, was die Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Infrastruktur erhöht. Diese Aspekte stellen für die Verkehrsbetriebe des Nah- und Fernverkehrs wichtige Eckpfeiler für die Erzielung eines günstigen Betriebsergebnisses dar. Derzeit

werden in diesem Forschungsfeld am Fachgebiet folgende Problembereiche bearbeitet:

- Optimierung elastischer Zwischenlagen zwischen Schiene und Schwelle bzw. Fester Fahrbahn in Zusammenarbeit mit der Oberbauindustrie.
- Verschleiß- und Lärmverhalten neu entwickelter Formen der Fester Fahrbahn, u.a. zur Lebensdauerschätzung und LCC-Ermittlung.
- Akustische Untersuchungen zur Optimierung von Absorptionselementen zur Lärminderung bei der Fester Fahrbahn und engen Gleisbögen (Kurvenkreischen).
- Akustische Untersuchungen an der Strecke zur Auswahl geeigneter Lärmschutzmaßnahmen.
- Dauerversuche zur Erforschung des Verhaltens elastischer Schienenlager und Untersuchungen an Schienenendämpfungssystemen.
- Körperschalluntersuchungen an Schienenlagerungssystemen.

Gestützt auf neu entwickelte Simulationsmodelle und Messergebnisse werden die Beanspruchungen in den einzelnen Fahrbauelementen abgebildet. Damit können die Lebensdauer wesentlich sicherer abgeschätzt und Instandhaltungsstrategien optimiert werden.

Für die genannten Optimierungen sowie Festigkeitsnachweise bahntechnischer Komponenten sowohl im mechanischen als auch im akustischen Bereich verfügt das Fachgebiet über ein entsprechendes Equipment, u.a. eine Universalschwingungsprüfmaschine für dynamische Kräfte von  $\pm 400$  kN und einen Shaker für Frequenzen zwischen 1 Hz und 10 kHz.

## Optimierung betrieblicher Abläufe und der Netznutzung im Schienenverkehr

### Reduzierung des Energieverbrauchs

Mit Hilfe des am Fachgebiet entwickelten Zugfahrt-Simulations- und Optimierungsprogramms können für jede beliebige Zugfahrt des Personen- und Güterfernverkehrs sowie des Nahverkehrs Fahrzeit und Energieverbrauch für unterschiedliche Fahrweisen berechnet und eine optimierte Fahrweise mit möglichst geringem Energieaufwand ermittelt werden.

Dieses EDV-Programm kann als Grundlage eines Realzeit-Systems für den Einsatz im praktischen Betriebsablauf eingesetzt werden, wobei Abweichungen von der Sollzeit während der Fahrt berücksichtigt und dementsprechend erneute Optimierungen vorgenommen werden können.

Aufbauend auf den am Fachgebiet durchgeführten theoretischen Untersuchungen zur energiesparsamen Fahrweise wurde eine Software für Nahverkehrsfahrzeuge entwickelt, die, abhängig von der momentanen Fahrplanlage, dem Triebfahrzeugführer Fahrempfehlungen gibt, mit denen der Energieverbrauch gegenüber der straffen Fahrweise vermindert werden kann. Zusätzlich wird eine Software entwickelt, die die Fahrpläne hinsichtlich eines minimalen Energieverbrauchs optimiert.

### Netznutzungsoptimierung – Trassenbörse

Die kostenintensive Schieneninfrastruktur muss möglichst optimal ausgelastet werden, um die Kosten auf möglichst viele Nutzer

zu verteilen. Andererseits verlangen die Kunden, die Eisenbahnverkehrsunternehmen, dass ihre Zugfahrten wie geplant, also pünktlich durchgeführt werden. Die Kunst der Fahrplanerstellung ist die richtige Wahl der Pufferzeiten zwischen zwei Zügen, um ein gewünschtes Pünktlichkeitsniveau zu erreichen. Eine neue Möglichkeit, die Trassen im Netz bestmöglich zu verteilen, ist die Versteigerung. Allerdings ist ein derartiges Procedere wesentlich komplizierter als eine Kunstauktion. Zusammen mit Wirtschaftswissenschaftlern, Mathematikern und weiteren Forschern versucht das FG, ein derartiges Trassenbörsen-Verfahren im Spannungsfeld zwischen betrieblicher Detailgetreue, mathematischen Möglichkeiten und den Randbedingungen einer Versteigerung so zu entwickeln, dass es bei den Praktikern auf Akzeptanz stößt.

## Mensch – Maschine – Systeme im Bahnbetrieb

Die Anforderungen an die Interaktion zwischen Mensch und Maschine im Verkehr werden immer komplexer. Die Optimierung der betriebliche Überwachung und Fahrzeugsteuerung sind Schwerpunkt der Forschung an diesem Fachgebiet. Im Rahmen mehrerer Projekte wurde die Schnittstellen zwischen Triebfahrzeugführer und Fahrzeug unter den Gesichtspunkten Harmonisierung und Wirtschaftlichkeit, z.B. mit der Entwicklung von LCC-Tools, untersucht und optimiert.

## Strategische Untersuchungen zur Optimierung des öffentlichen Verkehrs

Der Schienenverkehr sieht sich immer neuen Herausforderungen gegenübergestellt: veränderte Nachfrageverhalten, Rahmenbedingungen und Standards. Der öffentliche Verkehr im Allgemeinen und der Schienenverkehr im Speziellen muss sich diesen Bedingungen stellen, um wirtschaftlich bestehen zu können.

## Nachfrageanalysen und Entwicklung von Angebots- und Produktionsstrategien

### Schienenpersonenverkehr

Bislang ist es dem Schienenpersonenfernverkehr nicht ausreichend gelungen, bei preissensiblen Mobilitätsnachfragern habitualisierte Verkehrsmittelwahlentscheidungen aufzubrechen und zusätzliche Reisen zu stimulieren. Dabei zeigen die Low-Cost-Airlines seit einiger Zeit, wie durch eine aggressive Preispolitik Neuverkehre induziert werden können und bei entsprechenden Kostenstrukturen gleichzeitig ein profitabler Betrieb möglich ist. Untersucht werden die Übertragbarkeit und Modifikation von Instrumenten aus dem Luftverkehr (z.B. Yieldmanagementsysteme) sowie prinzipiell Möglichkeiten und Chancen von Low-Cost-Angeboten im Schienenpersonenfernverkehr.

Integrierte Verkehrsdienstleistungen von Bahnen und Luftverkehrsgesellschaften stellen trotz hoher Investitionen in die Schnittstellenoptimierung immer noch ein Nischenprodukt dar. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der hohe Komplexitätsgrad intermodaler „seamless travel“-Lösungen und die damit verbundenen Hemmnisse der ungünstigeren Kostenstruktur sowie des höheren Fehlerpotenzials. Im Rahmen von Projektaufträgen des BMVBS und eines Promotionsvorhabens werden sowohl Erfolgsfaktoren verkehrsträgerübergreifender Mobilitätslösungen im Fernverkehr (z.B. Begleitstudie zum SWISS-CNL-Produkt Night&Flight) als auch ein den Nahverkehr einschließendes Kombiticketing analysiert.



*Schiengüterverkehrsvorlesung: Vorlesungen im Hauptstudium haben Seminarcharakter. So kann in der Lehre mit kleinen Studentengruppen eine praxisnahe Lehre durchgeführt werden.  
Foto: Sebastian Koch.*

### Schiengüterverkehr

Der ehemals flächendeckende Einzelwagenverkehr der Güterbahnen wurde in den vergangenen Jahren unter zunehmendem wirtschaftlichem Druck stark zurückgefahren. Die hohen Aufwendungen für Infrastruktur- und Produktionskosten belasten das System stark. Gleichzeitig behindert die zum Teil archaische Technik die Einführung innovativer und kostengünstiger Produktionsverfahren.

Attraktiv ist der Markt der Ganzzüge, wobei sich auf einzelnen Korridoren, z.B. im Hinterland der Seehäfen oder auf den Alpenquerungen bereits Trassenengpässe abzeichnen. Die größten Zuwächse des Güterverkehrs kann jedoch nach wie vor der Lkw-Verkehr verzeichnen. Hier ist mittlerweile der Sattelanhängler zur dominierenden Ladeinheit auf den Straßen geworden. Der Lkw bietet einen flächendeckenden Haus-zu-Haus Service mit Sendungsverfolgung und hoher Flexibilität bei sich ändernden Sendungsströmen oder Größen und somit bester Anpassung an die Anforderungen moderner Logistiksysteme.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten des Fachgebiets liegt in der Entwicklung von Verfahren zur Reduktion des Zeit- und Kostenaufwands durch den Einsatz innovativer, in anderen Bereichen bereits erprobter Technologien und Verfahren.

Dabei werden betriebliche Aspekte, wie die Leistungsfähigkeit von Strecken und Knoten ebenso behandelt wie die innovativen Produktionsverfahren Train-Coupling and -Sharing oder Linienzüge des Schienengüterverkehrs. Die Grundlage für diese neuen Konzepte bilden Untersuchungen der notwendigen Basistechnologien wie der funkgesteuerten Mehrfachtraktion von Lokomotiven, Technologien zur rollenden Verladung nicht-krabbarer Sattelanhängler oder der Automatischen Mittelpufferkupplung. Kosten können gesenkt werden, wenn es z.B. gelingt, Rangierprozesse in dezentralen Anlagen ohne aufwändige Infrastruktur durchzuführen. Dazu können einfache Rangierantriebe auf den Güterwagen und automatische Kupplungen eingesetzt werden. Ebenso sollten die Züge besser ausgelastet werden, wobei am FG intensive Überlegungen zu den Möglichkeiten einer Ausweitung der Zuglänge über die derzeit möglichen 700 m hinaus angestellt werden.



Lehrstellwerk: Zur Ausbildung der Betriebsabläufe im Bahnbetrieb besitzt das Fachgebiet eine Lehrstellwerk an der TU Berlin.

Dieses wird auch von Dritten zur Ausbildungszwecken gerne genutzt.

Foto: Sebastian Koch.

Ziel ist es, Leistungen anzubieten, die die Anforderungen moderner Logistiksysteme bezüglich Transportzeit, Flexibilität und Sendungsgröße erfüllen können. Gleichzeitig sollen die Kosten des Systems gesenkt werden durch die Verschlinkung von Produktionsprozessen und die bessere Nutzung von Infrastruktur und Rollmaterial.

## Zukunftstendenzen des ÖPNV

Der ÖPNV befindet sich zurzeit in einer Umbruchphase, die intelligente Angebots- und Produktionskonzepte erfordert. In einer langjährigen Zusammenarbeit mit dem Land Brandenburg und regionalen Unternehmen wie der Oberhavel Verkehrsgesellschaft (OVG) oder den Erfurter Verkehrsbetrieben werden spezielle Konzepte für den Nahverkehr erstellt. Dabei sind die Herausforderungen, die sich aus dem demographischen und strukturellen Wandel des Landes sowie den finanziellen Rahmenbedingungen ergeben, zu berücksichtigen. Intelligente und integrierte Bedienungskonzepte, bedarfsorientierte Angebote für den ländlichen Raum und Schülerverkehre sowie die Entwicklung von leistungsfähigen Tools zur unternehmensinternen Steuerung sind Beispiele unserer Forschungsarbeit in diesem Bereich. Diese Erfahrungen konnte das Fachgebiet auch in von der EU (Twist) und vom BMBF (Impuls 2005) geförderten Projekten sammeln und intensivieren. Auch hierbei wird deutlich, dass der Systemgedanke des öffentlichen Verkehrs nicht nur auf den Bahnsektor beschränkt bleibt, sondern versucht wird, diesen durch nachgelagerte und bedarfsgerecht gestaltete ÖV-Angebote zu stützen.

## Informations- und Wissensmanagement

Das Aufbereiten und Bereitstellen von verkehrswissenschaftlichem Know-how für Entscheidungsträger sowie die Förderung von Kompetenznetzwerken ist eine wichtige Aufgabe unserer Forschung.

Beim Aufbau des Forschungs- und Informationsnetzwerkes Mobilität, Verkehr und Stadtentwicklung (FIS, [www.forschungsinformationssystem.de](http://www.forschungsinformationssystem.de)) des BMVBS übernimmt das Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb die Auswertung und Aufbe-

reitung des verfügbaren Wissens im Bereich „Allgemeine Fragen zu spurgebundenen Verkehrsträgern“. Das Kompetenznetzwerk für innovative Verkehrslösungen des BMVBS – die Internetplattform Mobilität 21 ([www.m21-portal.de](http://www.m21-portal.de)) – wird ebenfalls von einem Mitarbeiter des FG redaktionell beraten.

Das Fachgebiet ist als Mitglied im EURNEX – European Rail Research Network of Excellence tätig. Hierbei handelt es sich um ein Netzwerk, welches die Zusammenarbeit der europäischen Bahnforschung fördern und intensivieren soll.

## Verkehrsmanagement und Mobilitätsverhalten bei Sportgroßveranstaltungen

Die Untersuchung der Verkehrsströme und daraus resultierender Anforderungen bei Event-Verkehren war Aufgabe in einem Studentenprojekt mehrerer Universitäten unter Leitung der TU Berlin zum FIFA Confederation Cup 2005. In Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn AG und dem Organisationskomitee der FIFA WM 2006 konnten wertvolle Erkenntnisse für die Planung der Fußball Weltmeisterschaft gewonnen werden.

Diese Zusammenarbeit mit den verschiedenen Planungsakteuren und Verkehrsunternehmen konnte in einem BMBF-Projekt zur Fußball WM 2006 fortgesetzt werden.

## Wo soll es hingehen?

Angesichts der finanziellen Lage des Landes Berlin sind derzeit auch an der TU Berlin nur kleine Entwicklungsschritte möglich. In der Lehre werden wir den erfolgreichen Weg der Gesamtsystembetrachtung fortsetzen und intensivieren. Stärker wird die Betrachtung der Instandhaltung von Haupt- und Nebennetzen in die Lehre einfließen. Unser Ziel ist es, das Verständnis der Arbeit von und mit Software in Planung, Entwurf und Betrieb noch weiter zu fördern.

Wir wollen die beschriebenen Forschungsschwerpunkte weiter ausbauen und nach Möglichkeit unser derzeitiges Drittmittelniveau halten. Dies wird angesichts der Neuordnung der Bahnforschung zwischen Unternehmen, Industrie und diversen Geldgebern schwierig genug. Infolge der Unklarheiten über die Zukunft des Netzes fehlt es der Industrie derzeit vielfach an Mut zu Neuentwicklungen.

Ein wichtiges Entwicklungsfeld für uns ist der Betrieb. Aus der Synergie mit anderen Verkehrsträgern lassen sich nicht nur einige Algorithmen zur besseren Umlauf- oder Personaleinsatzplanung gewinnen, es sind auch die Chancen der Telematik und die Grenzen der Automatisierung in Verbindung mit den Mensch-Maschine-Problemen zu erforschen. Allen Akteuren muss klar sein, dass sich der Bahnsektor den gestiegenen Qualitätsanforderungen der Nutzer und den strukturellen Änderungen der Logistikbranche stellen muss. Wir werden unseren Teil dazu beitragen, dass der Verkehrsträger Eisenbahn auch im dritten Jahrtausend eine tragende Rolle in der Gesellschaft einnehmen kann. ■