

# eb

## Elektrische Bahnen

### Elektrotechnik im Verkehrswesen

## Sonderdruck

Peter Gratzfeld

Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik am Karlsruher Institut für Technologie



# Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik am Karlsruher Institut für Technologie

In der Fakultät für Maschinenbau der Universität Karlsruhe wurde zum 1. November 2008 der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik neu gegründet. Am 01.10.2009 haben sich die Universität Karlsruhe und das Forschungszentrum Karlsruhe zum Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zusammengeschlossen. Der Lehrstuhl ist inzwischen auf elf akademische Mitarbeiter angewachsen.

Die Gründung des Lehrstuhls für Bahnsystemtechnik im Rahmen der Exzellenzinitiative wurde durch die Einrichtung einer Stiftungsprofessur der Firma Bombardier Transportation GmbH sowie mit der Unterstützung der Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH (VBK) ermöglicht. Damit gibt es in Karlsruhe seit gut fünf Jahren erstmals einen Lehrstuhl, der speziell den Themen Bahnsystem und Schienenfahrzeug gewidmet ist.

Die Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik zählen zum Zentrum Mobilitätssysteme. Insgesamt beteiligen sich über 37 Institute mit aktuellen Projekten an der Mobilitätsforschung, wobei traditionell Kraftfahrzeuge und Straßenverkehr einen großen Stellenwert einnehmen.

## Lehre und Forschung am KIT

Das KIT ist heute mit rund 9000 Mitarbeitern, davon etwa 6000 in Forschung und Lehre, eine der größten Wissenschafts- und Lehreinrichtungen in Europa. An den elf Fakultäten studieren heute etwa 24500 Studentinnen und Studenten, knapp die Hälfte davon in den Ingenieurwissenschaften (Bild 1).

Die Forschung am KIT ist interdisziplinär in folgende sieben Zentren aufgestellt:

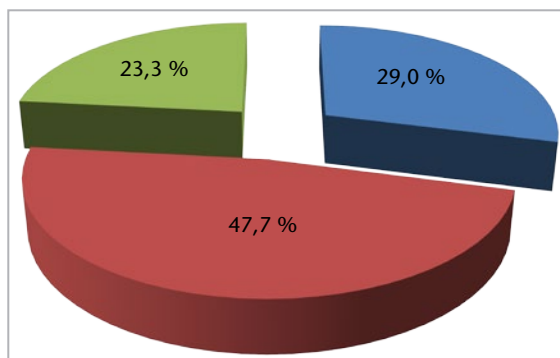
- Energie
- Materialien, Strukturen, Funktionen
- Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik
- Klima und Umwelt
- Mobilitätssysteme
- Information, Systeme, Technologien
- Mensch und Technik

## Studium der Bahnsystemtechnik am KIT

Das KIT hat mittlerweile alle seine Studiengänge auf konsekutive Bachelor- und Masterstudiengänge umgestellt, die in allen Fakultäten grundsätzlich ähnlich aufgebaut (Bild 2) sind, auch wenn Bezeichnungen und Umfänge der einzelnen Module voneinander abweichen können. In den ersten eineinhalb bis zwei Studienjahren werden alle erforderlichen theoretischen Grundlagen vermittelt. Auch in den höheren Semestern sorgt ein vorgegebener Kanon von Kernfächern für die Festigung des notwendigen Fundaments und den Aufbau einer breiten fachlichen Kompetenz in der jeweiligen Studienrichtung. Dadurch wird sichergestellt, dass Absolventen später über das notwendige fachliche und methodische Handwerkszeug verfügen, um sich eigenständig in die unterschiedlichsten ingenieurmäßigen Fragestellungen einzuarbeiten.

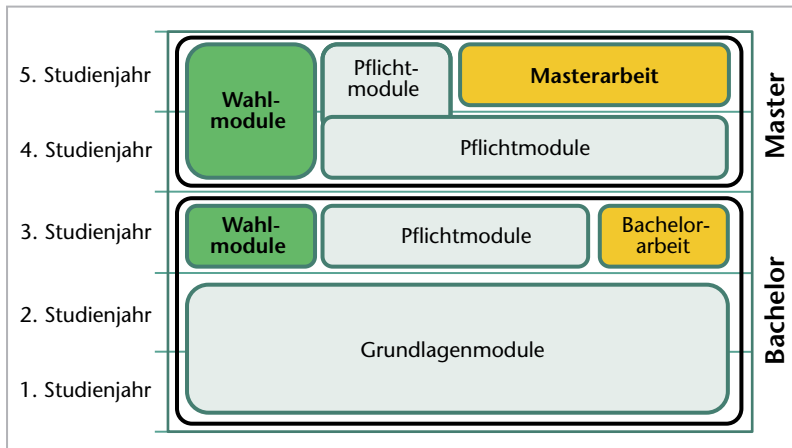
Darüber hinaus haben die Studierenden die Möglichkeit, entsprechend ihren Neigungen fachliche Schwerpunkte zu setzen. Ziel dieser Wahlmodule, in Bild 2 dunkelgrün gekennzeichnet, ist es, den Studierenden ein Grundverständnis verschiedener Fachgebiete oder Anwendungsgebiete zu vermitteln [1; 2].

In diesem Rahmen kann sich der Studierende am KIT auch auf Bahnsystemtechnik spezialisieren. Der betreffende Lehrstuhl bietet dafür ein umfangreiches Programm an, das alle wesentlichen Aspekte eines modernen Eisenbahnsystems (Bild 3) behandelt. Dazu zählen Lehrveranstaltungen über die Bahn als Gesamtsystem, Schienenfahrzeugtechnik, Elektrische Schienenfahrzeuge, Projektmanagement im Schienenfahrzeugbau, Intermodalität und grenzüberschreitender Schienenverkehr und Mobilitäts-

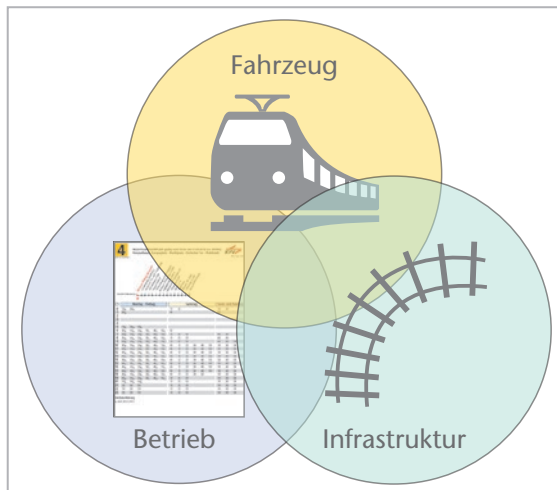


**Bild 1:** Aufteilung der Studierenden am KIT nach Fächergruppen (alle Bilder: KIT).

- blau* Mathematik und Naturwissenschaften
- rot* Ingenieurwissenschaften
- grün* Sonstige



**Bild 2:** Prinzipieller Aufbau des konsekutiven Bachelor- und Masterstudiums am KIT.



**Bild 3:** Eisenbahn als System.

konzepte für den Schienenverkehr. Ergänzt wird das Angebot durch die Abteilung Eisenbahnwesen in der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften mit weiteren Lehrveranstaltungen zu Bahnbetrieb, Bau- und Instandhaltung von Schienenfahrwegen bis hin zu dem Bereich Recht im Öffentlichen Verkehrswesen.

Besonders attraktiv ist für die Studenten die Möglichkeit, im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten an aktuellen Forschungsprojekten im Bahnbereich mitzuarbeiten.

Das Lehrangebot wird vor allem von Studierenden des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und des Wirtschaftsingenieurwesens genutzt, die sich damit ein grundlegendes Systemverständnis des Eisenbahnwesens erwerben können. Es steht in Konkurrenz zu zahlreichen anderen Fächern in den Ingenieurwissenschaften und musste sich seinen Platz bei den Studierenden erst erkämpfen. Über hundert Prüfungen und mehr als zwanzig Abschlussarbeiten allein im letzten Jahr belegen aber

eindeutig, dass das Lehrangebot mittlerweile sehr gut angenommen wird.

Besonders erfreulich dabei ist, dass alle Absolventen problemlos einen Arbeitsplatz in der Bahnindustrie mit ihren vielfältigen Zulieferfirmen oder bei öffentlichen oder privaten Eisenbahnbetreibern und Nahverkehrsunternehmen finden.

### Forschung am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik

Der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik verfolgt in der Forschung das strategische Ziel, die weitere Entwicklung des Bahnsystems als energieeffizienten, umweltfreundlichen und leistungsfähigen Verkehrsträger mitzugestalten. Ausgehend vom Schienenfahrzeug befasst er sich insbesondere mit denjenigen wissenschaftlichen Fragestellungen, die an den Schnittstellen zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und Betrieb auftreten. Dabei liegt der Schwerpunkt eindeutig im Nahverkehr.

Am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik wurden vier Forschungsschwerpunkte aufgebaut:

- Eisenbahn als mechatronisches System
- Energiemanagement
- Induktive Energieübertragung
- Antriebssysteme

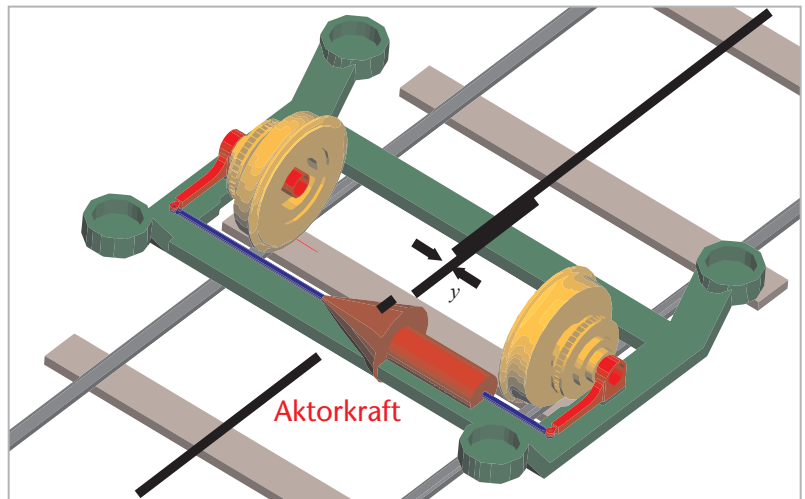
An den im Folgenden hierzu beschriebenen Forschungsprojekten arbeiten aktuell elf akademische Mitarbeiter, davon sechs Maschinenbauingenieure, drei Elektrotechniker und zwei Wirtschaftsingenieure. So ist die notwendige Kompetenzbreite sichergestellt, die für die Bearbeitung der interdisziplinären Forschungsthemen unerlässlich ist.

Für experimentelle Untersuchungen stehen umfangreiche Prüffelder zur Verfügung, die gemeinschaftlich am Institut für Fahrzeugsystemtechnik genutzt werden. Speziell für die elektrische Antriebstechnik wurde ein Prüfstand mit Original-Bahnmotoren aus dem Nahverkehrsbereich realisiert. Der Prüfstand erlaubt den Betrieb von drei Maschinen mit je 130kW an einem gemeinsamen Gleichspannungszwischenkreis. Auch weitere Prüflinge können eingebunden werden. Untersuchungen an kompletten Fahrzeugen finden mit Unterstützung der VBK in deren Infrastruktur statt.

### Eisenbahn als mechatronisches System

Heutige Schienenfahrzeuge sind hochkomplexe Systeme, in denen die unterschiedlichsten Techniken aus dem Bereich des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informationstechnik integriert sind. Wach-

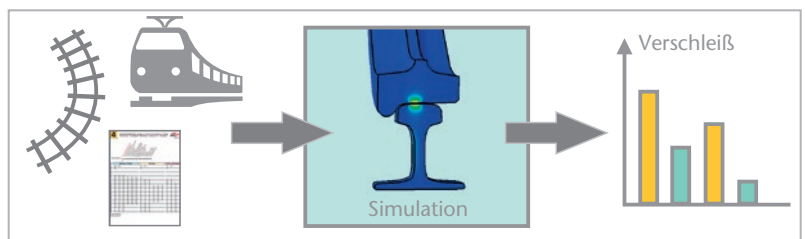
sende Anforderungen, wie immer größere installierte Leistung, geringeres Gewicht, geringerer Verschleiß, höhere Wirtschaftlichkeit, höhere Crashfestigkeit und größere Sicherheit, zwingen zu einer Ausnutzung der installierten Technik bis an die Grenzen des physikalisch Machbaren. Dabei verwischen sich die Grenzen zwischen den klassischen Disziplinen immer mehr. Funktionen, die bisher von elektrotechnischen oder mechanischen Teilsystemen realisiert wurden, werden immer mehr durch integrale Lösungen ersetzt, bei denen Elektrotechnik, Maschinenbau und Informationstechnik eng ineinander verwoben sind. Die so begründete Mechatronik bietet zudem die Möglichkeit, Funktionen zu realisieren, die in klassischer Technik gar nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand umgesetzt werden können.



**Bild 4:**  
Aktiv gelenktes Radpaar.

### Mechatronische Spurführung zur Verschleißreduktion im Schienennahverkehr

Der Verschleiß an Rad und Schiene ist eine der größten Kostenpositionen bei der Instandhaltung von Schienenfahrzeugen und von Schienennetzen. Insbesondere bei sehr engen Kurven, wie sie typischerweise im Nahverkehr von Straßenbahnen durchfahren werden, treten oft große Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene sowie Spurkranz-anlauf auf. Um den hohen Verschleiß an diesen Stellen zu reduzieren, wird an einem mechatronischen Fahrwerkskonzept, dem aktiv gelenkten Radpaar (Bild 4) geforscht. Durch eine robuste Spurführungsregelung soll der Querversatz  $y$  möglichst ganz verschwinden und der Spurkranz-anlauf vermieden werden [3]. Dabei werden auch Simulationsverfahren, mit denen das Verschleißverhalten bewertet werden kann, entwickelt (Bild 5) [4].



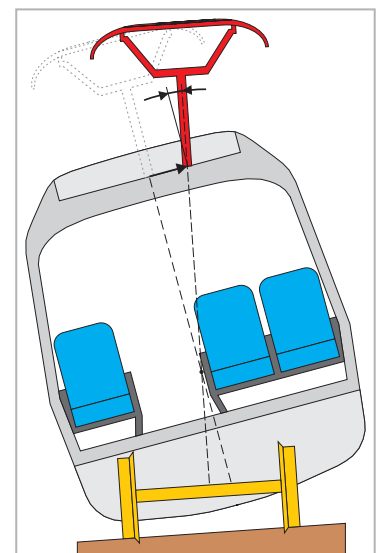
**Bild 5:**  
Methodik zur Verschleißberechnung.

### Kinematik der Neigekompensation von Stromabnehmern für Neigetechnikfahrzeuge

Für die Betrachtung der dynamischen Interaktion der Oberleitung mit dem Stromabnehmer wird häufig die Anregung durch die Fahrzeugbewegung nicht berücksichtigt, da diese insbesondere bei guter Fahrwegqualität nur einen geringen Einfluss hat [5]. Diese Annahme trifft bei Stromabnehmern für Neigetechnikfahrzeuge nicht mehr zwangsläufig zu, weil bei diesen eine Kompensationseinrichtung (Bild 6) notwendig ist.

Zudem beeinflusst die Ausgestaltung der Kompensationseinrichtung durch den hohen vertikalen Bauraum auch das Dachdesign und beschränkt den Fahrgastraum. Im Zuge einer Forschungsaufgabe hierzu werden systematisch Lösungsansätze

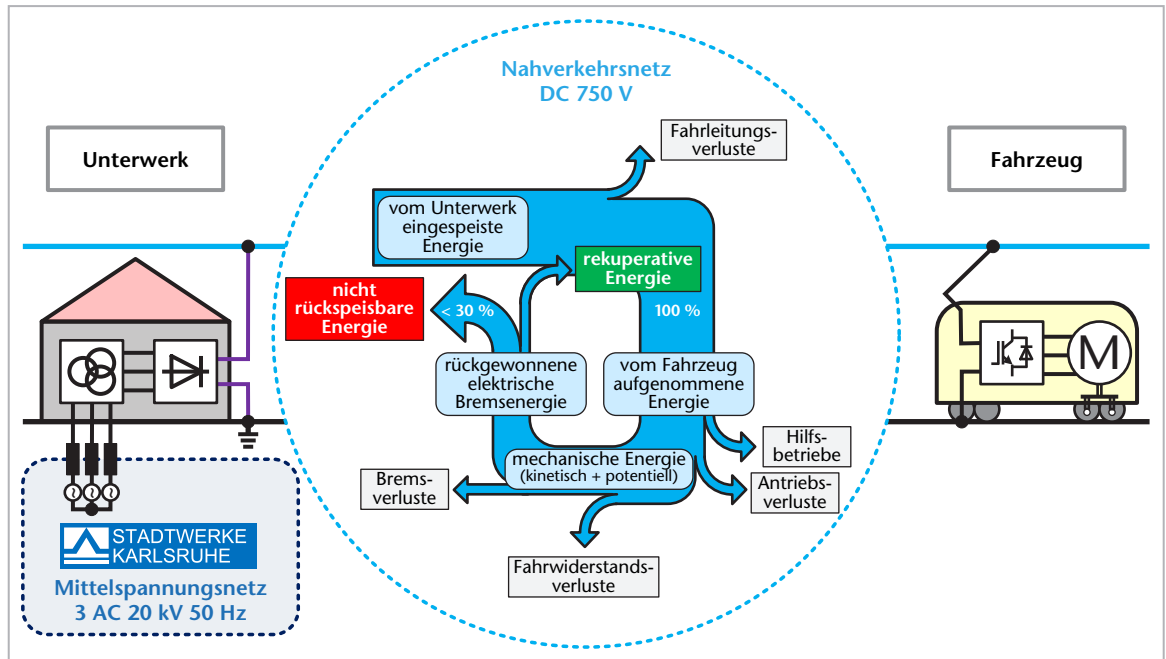
zur mechatronischen Ausführung der Neigekompensation des Stromabnehmers gesucht und hinsichtlich der vertikalen Bauhöhe und des Einflusses auf die Kontaktqualität bewertet. Ziel ist es, Lösungen zu finden, welche bei kompakter Bauhöhe möglichst geringen Einfluss auf die dynamische Interaktion mit der Oberleitung aufweisen.



**Bild 6:**  
Neigekompensation des Stromabnehmers.

### Energiemanagement

Die öffentlichen Diskussionen um Umweltbelastung, Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Ausstoß sowie um ein „grünes“ Image machen das Energiemanagement zu einem zentralen, gesellschaftlich relevanten Thema. Dadurch dass die Ressourcen verknappen und daher die Energiepreise steigen, rücken neben den ökologischen auch ökonomische Gesichtspunkte in den Vordergrund. In der Konsequenz hat die Thematik auch für die Betreiber des Öffentlichen Nahverkehrs eine hohe und zukunftsweisende Relevanz.



**Bild 7:** Energiebilanz im Nahverkehrsnetz.

### Schienenfahrzeuge

Gerade auch im Nahverkehr hat der Energieverbrauch einen wesentlichen Anteil an den Betriebskosten. Mittlerweile verfügt nahezu jedes neue elektrische Schienenfahrzeug über umrichter gespeiste Asynchronmaschinen und ist grundsätzlich in der Lage, Bremsenergie in die Fahrleitung zurückzuspeisen. Jedoch ist hinsichtlich der Nutzung der Bremsenergie noch großes Potenzial vorhanden (Bild 7).

Im Vergleich zu Wechselspannungsnetzen kann in Gleichspannungsnetzen zurückgewonnene Bremsenergie nur begrenzt genutzt werden. Der Grund hierfür liegt einerseits in den oft noch mit Dioden ausgerüsteten Gleichrichterunterwerken, die keinen Leistungsfluss zurück in das übergeordnete AC-Mittelspannungsnetz erlauben. Andererseits ist der Transport der Energie im DC-Netz über größere Entfernungen aufgrund der relativ geringen Netzspannung und der dadurch hohen Leitungsverluste nicht möglich. Daher kann die Bremsenergie nur dann vom Oberleitungsnetz aufgenommen werden, wenn in der Nähe des bremsenden Fahrzeugs zeitgleich ein Abnehmer für diese Energie vorhanden ist. Verschiedene Untersuchungen und Messungen belegen, dass in einem typischen elektrifizierten Nahverkehrsnetz 20 bis 30% der Bremsenergie in Bremswiderständen nutzlos in Wärme umgewandelt werden [6; 7].

Mit der Einbindung von Energiespeichern in das System kann die momentan nicht nutzbare Bremsenergie zwischengelagert und bei der nächsten Anfahrt genutzt werden. Beispielsweise sind auf dem Gebiet der Hochleistungskondensatoren mittlerweile leistungsfähige Energiespeicher verfügbar, die auf

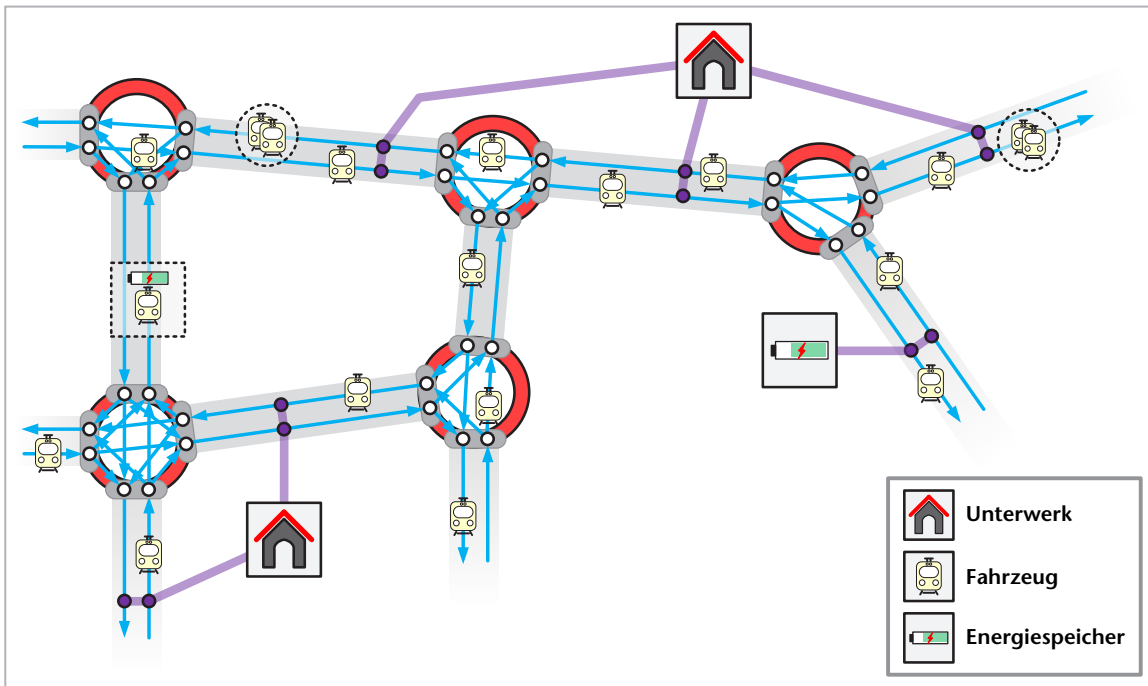
dem Fahrzeug mitgeführt werden können. Neben Hochleistungskondensatoren kommen grundsätzlich auch Schwungräder, Batterien oder Druckluftspeicher als Energiespeicher in Frage. Alternativ zu den mobilen Speichern auf Fahrzeugen besteht zusätzlich die Möglichkeit, durch über das Netzwerk verteilte stationäre Energiespeicher die Netzspannung zu stabilisieren.

Der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik befasst sich speziell mit der Entwicklung einer Anwendungssoftware zur Abbildung der infrastrukturellen Eigenschaften sowie der betrieblichen Vorgänge in einem Nahverkehrsnetz [8]. Mit Hilfe umfangreicher Fahrspielsimulationen werden die sich fortlaufend ändernden Standorte der Fahrzeuge sowie die sich aus der Fahrdynamik ergebenden Traktionsleistungen bestimmt. Anschließend soll mit Lastflussberechnungen die optimale Dimensionierung und Positionierung von Speichersystemen im elektrischen Netz analysiert werden (Bild 8).

### E-Busse

Im Kontext der Elektromobilität rückt auch die Elektrifizierung von Linienbussen mit bordeigenem Speicher in den Fokus. Die erwarteten Vorteile sind ein emissionsloser und nahezu lautloser Betrieb in Ballungsgebieten, reduzierte Betriebskosten sowie eine umweltbewusste Außenwirkung für Städte und Verkehrsbetriebe [9].

Der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik beteiligt sich im „Leuchtturmprojekt“ PRIMOVE Mannheim an der Erforschung des Einsatzes von induktiv laden-



**Bild 8:**  
Simulation des Streckennetzes.

den E-Bussen im Stadtverkehr. Das Forschungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert und als Kooperation zwischen dem KIT, der Rhein-Neckar-Verkehr GmbH (RNV), Bombardier Transportation GmbH und der Stadt Mannheim auf der Mannheimer Buslinie 63 umgesetzt [10]. Ab 2014 werden die dort bisher eingesetzten Dieselfusse durch zwei rein elektrisch betriebene, 12 m lange Busse des Schweizer Herstellers Carrosserie HESS AG ersetzt. Diese laden dann während ihres Betriebs an ausgewählten Haltestellen über das induktive Energieübertragungssystem PRIMOVE des Herstellers Bombardier nach, was im Besonderen eine kleinere Dimensionierung des Akkumulators erlaubt und neue Betriebskonzepte ermöglicht (Bild 9).

Schwerpunkt des Forschungsprojekts am Lehrstuhl ist die Simulation des Gesamtsystems aus Bus, Infrastruktur und Betrieb im Hinblick auf verschiedene Ladeszenarien und Betriebsvarianten, auf Optimierungspotenziale, Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Diesel-/Hybridbuseinsatz, Rückwirkungen auf das Energieversorgungsnetz und Übertragbarkeit auf andere Linien, Topographien, Fahrzeugtypen und Betreiber.

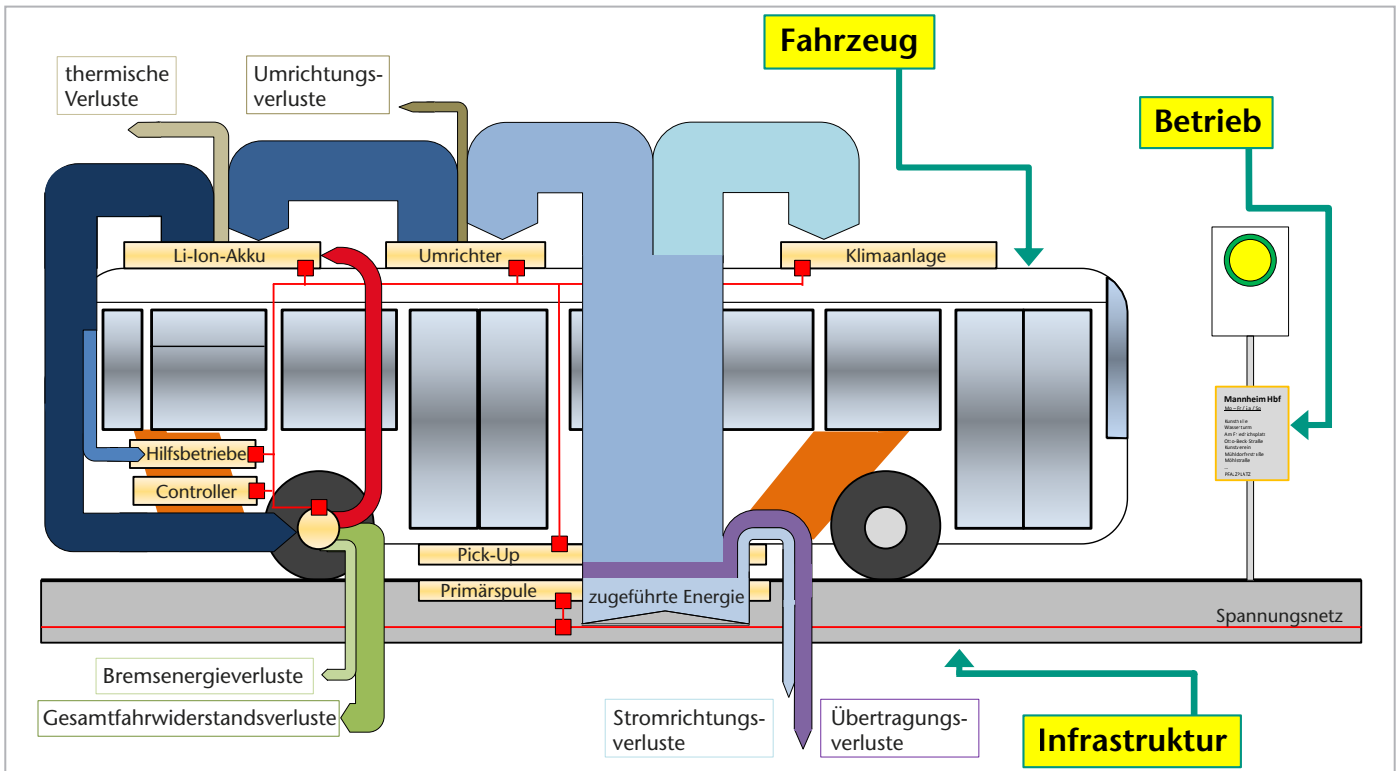
## Induktive Energieübertragung

Seit Anbeginn haben sich Oberleitung oder Stromschiene in Verbindung mit Stromabnehmern als Zu-

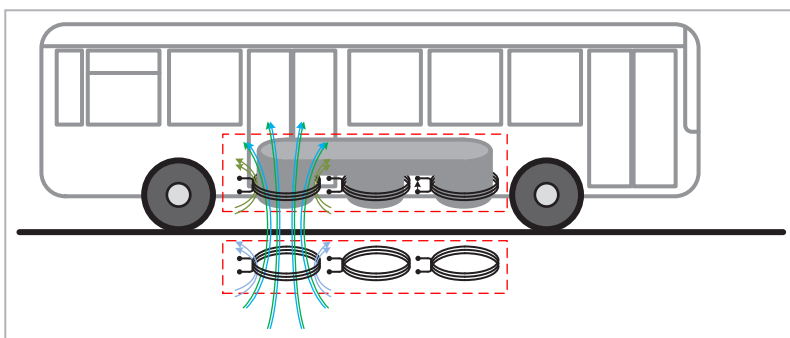
bringer der Traktionsenergie für Schienenfahrzeuge bewährt. Im Bereich des elektrifizierten Individualverkehrs werden dagegen in der Regel Energiespeicher auf dem Fahrzeug mitgeführt, die punktuell über Stromkabel nachgeladen werden. In beiden Bereichen bietet die induktive Energieübertragung eine interessante Alternative. Sie ist verschleiß- und wartungsarm und unkompliziert in der Handhabung. Der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik forscht im Rahmen dreier Projekte an verschiedenen Fragestellungen zum Einsatz induktiver Energieübertragung im Fahrzeugbereich.

## Aktive Kompensation

Bei der Anwendung induktiver Energieübertragungstechnik in Bus und Bahn aus dem öffentlichen Verkehrssegment sind die Leistungsanforderungen an das Übertragungssystem sehr hoch, was auch die Einhaltung von Grenzwerten elektromagnetischer Felder im direkten Umfeld des Fahrzeugs deutlich erschwert. In diesem Leistungsbereich bieten sich symmetrisch betriebene, mehrphasig ausgeführte Systeme an, da hier der Feldproblematik bereits mit konstruktiven Maßnahmen wirkungsvoll begegnet werden kann. Die breiten Schwankungen aller Einflussfaktoren verursachen jedoch Einbußen hinsichtlich Effizienz und Leistungsfähigkeit des Übertragungssystems. Zu den wichtigsten Einflussfaktoren zählen Relativbewegungen des Fahrzeugs oder Lagefehler bei der freien Positionierung des



**Bild 9:**  
Induktiv geladener Elektrospeicherbus.



**Bild 10:**  
Dreiphasige induktive Energieübertragung.

Fahrzeugs über dem fahwegseitig installierten Teil des Systems (Bild 10).

Im Forschungsprojekt geht es zunächst um die mathematische Modellbildung solcher Mehrphasensysteme. Darauf aufbauend werden aktive Systemstrukturen untersucht, um den genannten Einbußen im laufenden Betrieb effektiv entgegenwirken zu können.

### Ladekonzept für Stadtbusse

Im Rahmen des so genannten Projekthaus E-Drive wird an induktiver Energieübertragung zum Ein-

satz in Stadtbussen geforscht. Das Projekt wird vom Ministerium für Wissenschaft und Kunst des Landes Baden Württemberg gefördert und von der Daimler AG unterstützt.

Ein System zur induktiven Nachladung von Stadtbussen besteht aus mehreren Komponenten, die unter Berücksichtigung zahlreicher Eingangsvariablen sorgfältig aufeinander abgestimmt werden müssen. Die Minimalgröße des auf dem Fahrzeug mitzuführenden Akkumulators korreliert mit den Eckdaten des Fahrzeugs, der Ladestellendichte entlang der Strecke, der Verweildauer des Busses auf der Ladestelle, der Ladeleistung, dem gefahrenen Streckenprofil sowie äußeren Einflussfaktoren wie dem übrigen Straßenverkehr.

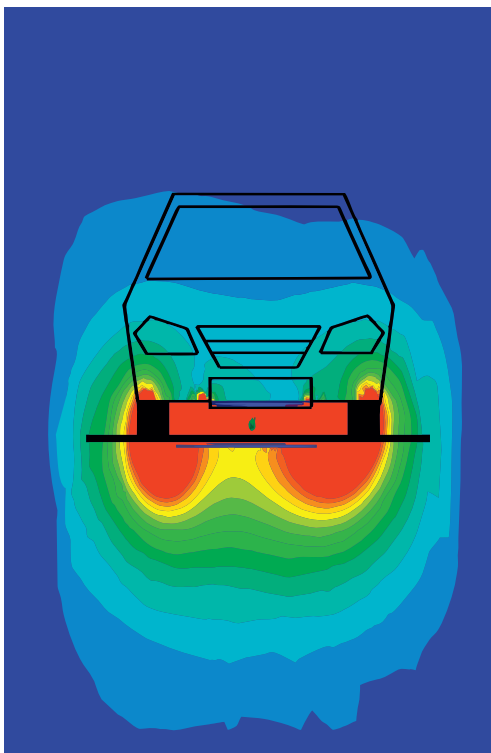
Ziel des Projekts ist neben der Abschätzung des Potenzials induktiver Energieübertragungstechnik daher, ein Konzept zur Aufladung batterieelektrisch betriebener Stadtbusse mittels dieser Technik zu erstellen. Hierzu wird ein Simulationsmodell entwickelt, das eine mit induktiver Energieübertragungstechnik ausgerüstete Stadtbuslinie abbilden kann. Die einzelnen Komponenten des Systems können hiermit gezielt aufeinander abgestimmt und an die örtlichen Gegebenheiten sowie an die Anforderungen des jeweiligen Betreibers angepasst werden.



## Schnellladensystem für PKW-Anwendungen

Im Zuge des Aufschwungs der Elektromobilität beim Individualverkehrs wird das Prinzip der induktiven Aufladung der Fahrzeugbatterie als Schlüsseltechnologie gesehen [11] und genießt zurzeit die volle Aufmerksamkeit der Automobilindustrie. Derzeit werden Elektrofahrzeuge üblicherweise über ein Kabel an gewöhnlichen Haushaltssteckdosen aufgeladen. Dies bringt zwei wesentliche Nachteile mit sich: Zum einen das unkomfortable Handling des Ladekabels, das beispielsweise bei schlechten Witterungsbedingungen durch Schmutz und Nässe erschwert wird. Zum anderen ist die maximale Ladeleistung an Haushaltssteckdosen in der Regel auf 3 kW begrenzt, sodass die Vollladung einer Fahrzeugbatterie mit einer Kapazität von etwa 20 kWh bis zu acht Stunden dauern kann.

Im Rahmen des öffentlich geförderten Projektes Berührungsloses, positionstolerantes und induktives Laden (BIPoL<sup>plus</sup>) wird an einem Schnellladensystem von bis zu 22 kW Ladeleistung geforscht, bei dem die Energieübertragung induktiv zwischen dem Elektrofahrzeug und der Ladestation erfolgt. Das Projekt BIPoL<sup>plus</sup> wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Spitzenclusters Elektromobilität Süd-West mit einer Laufzeit von drei Jahren gefördert. Insgesamt arbeiten acht Projektpartner aus Wirtschaft und Wissenschaft an der Realisierung dieses Projektes: Daimler AG, Robert Bosch GmbH, IPT-



**Bild 11:**  
Elektromagnetisches Feld des Spulensystems.

## Drei Fragen an Prof. Dr.-Ing. Peter Gratzfeld

Professor für Bahnsystemtechnik am Karlsruher Institut für Technologie

### Was ist die hauptsächliche Forschungsrichtung Ihres Lehrstuhls?

Wir beschäftigen uns mit den vier Forschungsschwerpunkten

- Eisenbahn als mechatronisches System,
- Energiemanagement,
- induktive Energieübertragung und
- Antriebssysteme.

Im Fokus haben wir vor allem Anwendungen im Nahverkehr, weil der Bedarf an leistungsfähiger und zugleich umweltverträglicher Mobilität in Städten und Ballungsräumen weltweit immer größer wird, aber auf diesem Gebiet zu wenig geforscht wird. Durch die enge Vernetzung mit den anderen Lehrstühlen am Institut für Fahrzeugsystemtechnik haben wir die Kompetenz, zukunftsweisende Lösungen nicht nur für Schienenfahrzeuge, sondern auch für weitere Fahrzeugarten voran zu treiben, und befassen uns beispielsweise auch mit Elektrobussen.



### Was ist das wesentliche Lernziel Ihrer Lehrveranstaltungen?

Mir ist der Systemgedanke besonders wichtig. Unsere Studierenden sollen Eisenbahn als Gesamtsystem verstehen und die wechselseitigen Abhängigkeiten von Fahrzeugen, Infrastruktur und Betrieb erkennen. Gerade an diesen Schnittstellen entstehen für das System Bahn die größten Herausforderungen, aber auch die aussichtsreichsten Potenziale. Darauf bereiten wir die Studierenden mit unseren Lehrveranstaltungen gezielt vor.

### Wie groß sind die Chancen auf dem Arbeitsmarkt für Ihre Absolventen?

Die Chancen auf dem Arbeitsmarkt für unsere Absolventen sind ausgezeichnet. Die deutsche Bahnindustrie, die Deutsche Bahn, private Bahnbetreiber und Nahverkehrsunternehmen zusammen haben einen jährlichen Bedarf von rund 2000 Ingenieuren. Damit ist der Bedarf an Ingenieuren mit bahntechnischer Ausbildung weit größer als das Angebot an Absolventen. Dank einer soliden Ausbildung, die auf Basis profunder ingenieurwissenschaftlicher Grundlagen die Zusammenhänge in modernen Bahnsystemen vermittelt, finden alle, die bei uns ihre Diplom- oder Masterarbeit schreiben, nach ihrem Studium problemlos eine Stelle in der Bahnbranche.

#### ZUR PERSON

Prof. Dr.-Ing. Peter Gratzfeld (58), Studium der Elektrotechnik an der RWTH Aachen von 1975 bis 1980, anschließend Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promotion an der RWTH Aachen; von 1986 bis 2008 in der Bahnindustrie tätig bei Bombardier Transportation und Vorgängerunternehmen; diverse Managementpositionen im Engineering, Projektmanagement und Geschäftsleitung; seit 2008 Inhaber des Lehrstuhls für Bahnsystemtechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Technology GmbH, EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Porsche AG, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, KIT sowie die Universität Stuttgart [12].

Der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik befasst sich in diesem Projekt insbesondere mit der simulativen Auslegung der Primär- und Sekundärspule. Durch ein optimiertes Spulendesign wird ein 22-kW-Übertragungssystem mit einer guten Kopplung und einer hohen Positionierungstoleranz entwickelt, das auch die aktuellen elektromagnetischen Grenzwerte einhält (Bild 11). Zudem soll ein interoperabler Betrieb von verschiedenen Spulensystemen sichergestellt werden.

## Antriebssysteme

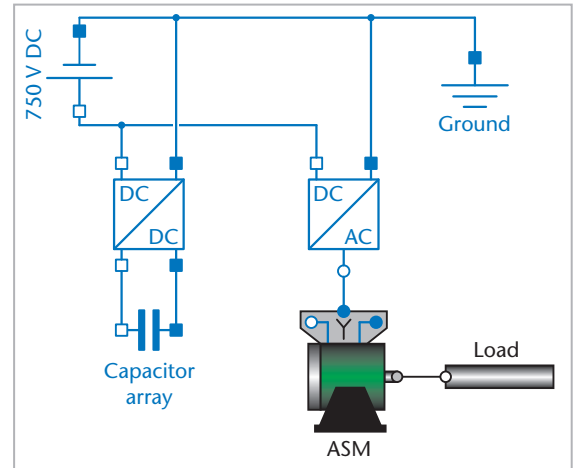
Die Antriebsausrüstung ist das zentrale System in allen Fahrzeugarten. Daher werden im Forschungsschwerpunkt Antriebssysteme am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik neue Antriebskonzepte erforscht.

### 1-D-Simulation elektrischer und hybrider Antriebsstränge

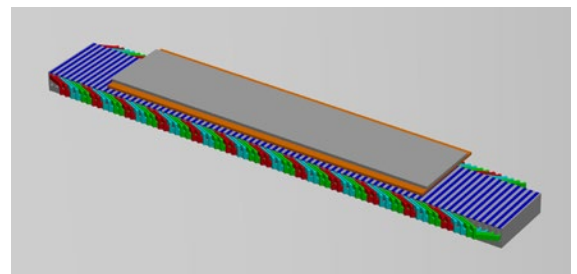
In diesem Projekt werden Simulationsmodelle von einzelnen Antriebs-elementen, beispielsweise Fahrmotoren, erstellt, die zuverlässige Aussagen zum Wirkungsgrad für solche Lastzyklen ermöglichen, die bei Fahr-antrieben üblich sind. Anhand von Messungen auf einem Prüfstand werden die Simulationsmodelle validiert; sie können dann zu Antriebsstrangmodellen gekoppelt werden, um verschiedene Antriebsstrangtopologien oder Energiemanagementansätze genauer untersuchen und die für den geplanten Einsatz effizienteste Lösung auswählen zu können (Bild 12).

### Linearmotor

Neben den klassischen Fahr-antrieben, bei denen die Zugkraft über den Kontakt Rad/Schiene übertragen wird, ist auch der Linearantrieb für Schienenfahrzeuge von Interesse. Wenn dabei der aktive Primärteil in den Oberbau integriert und der passive Sekundärteil auf dem Fahrzeug installiert wird, ist auch ein Fahren ohne Oberleitung möglich. Dieses Konzept kann vor allem dort nützlich sein, wo man im Streckenverlauf zum Beispiel aus ästhetischen Gründen vor einem sehenswerten Gebäude kurze oberleitungsfreie Abschnitte einrichten möchte, die man im regulären Betrieb bequem durchrollen kann, bei einem ungeplanten Halt aber zuverlässig räumen muss.



**Bild 12:** Simulation von Antriebsstrangtopologien.



**Bild 13:** Linearmotor-Demonstrator.

Für diesen Einsatzzweck müssen einige besondere Randbedingungen berücksichtigt werden. Dazu zählen insbesondere ein für elektrische Maschinen äußerst großer Luftspalt, die sehr begrenzten Platzverhältnisse unterhalb des Fahrzeugs sowie die Nachrüstbarkeit bei Bestandsfahrzeugen. Zur Erforschung dieses Konzeptes sind umfangreiche Berechnungen der magnetischen Felder erforderlich, die mit Hilfe von analytischen Gleichungen und der Finite-Elemente-Methode durchgeführt werden. Ein Demonstrator, mit dem später die Simulationsergebnisse validiert und die Funktionsfähigkeit des Konzeptes nachgewiesen werden sollen, befindet sich derzeit in Aufbau (Bild 13).

*Peter Gratzfeld*

#### Weitere Informationen

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
 Institut für Fahrzeugsystemtechnik  
 Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik  
 Rintheimer Querallee 2  
 76131 Karlsruhe  
 Fon: +49 721 608-48610, Fax: -48639  
 E-Mail: peter.gratzfeld@kit.edu  
 www.bahnsystemtechnik.de (Homepage des Lehrstuhls)  
 www.kit.edu

## Literatur + Links

- [1] Gratzfeld, P.: Eisenbahntechnik studieren am KIT, Zukunftsbranche Bahn: Beruf & Karriere 2011/2012, S. 58–59.
- [2] Gratzfeld, P.: Bahnsystemtechnik am KIT, Zukunftsmotor Metropolregion Rhein-Neckar, 2/2012, S. 36–37.
- [3] Gratzfeld, P.: Mechatronische Spurführung zur Verschleißreduktion bei Straßenbahnen, Ingenieurspiegel 2/2013, S. 69–70.
- [4] Heck, J.; Gratzfeld, P.: Ein Beitrag zur Simulation des Rad-Schiene-Verschleißes bei Straßenbahnen, Bahntechnik Aktuell Band 42/2012, S. 9–20.
- [5] Zhai, W. M.; Cai, C. B.: Effect of Locomotive Vibration on Pantograph-Catenary System Dynamics, Vehicle System Dynamics, Vol. 29, Supplement 1, 1998.
- [6] Steiner, M.; Scholten, J.: Energy Storage on board of DC fed railway vehicles. Power Electronics Specialists Conference, Aachen 2004.
- [7] Klausner, S.; Lehnert, M.: Betriebsspezifische Auslegung von Energiespeichern für Straßenbahnen. In: Elektrische Bahnen 2008, H. 5, S. 237–246.
- [8] Vollmer, I.: Wer bremst, gewinnt. lookKIT – Das Magazin für Forschung, Lehre, Innovation, 03/2013, S. 22–24.
- [9] Steinle, V.: Politik und Wirtschaft – gemeinsam zum Leitanbieter. 2. Fachkonferenz Elektromobilität im ÖPNV, Dresden 2014.
- [10] Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: Projektfinder. <http://www.now-gmbh.de/de/projektfinder/>, abgerufen am 29.01.2014.
- [11] JustPark: Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen: Chancen und Risiken beim kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen, Technologiefolgeabschätzung für eine Schlüsseltechnologie in der Durchbruchphase der Elektromobilität. Abschlussbericht im Rahmen des FuE-Programms „Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- [12] e-mobil BW GmbH: <http://www.emobil-sw.de/de/aktivitaeten/aktuelle-projekte/projektetails/BIPoLplus-Beruehrungsloses-induktives-und-positionstolerantes-Laden.html>, abgerufen am 02.02.2014.

