



# Institut für Verkehrssystemtechnik

Technologien aus Luft- und Raumfahrt  
für Straße und Schiene



<b>Institut für Verkehrssystemtechnik</b> _____	<b>3</b>
Spektrum der Forschung _____	4
<b>Bereich Bahnsysteme</b> _____	<b>6</b>
RailSiTe _____	8
RailDrIVE _____	10
<b>Bereich Verkehrsmanagement</b> _____	<b>12</b>
Messfahrzeuge _____	14
Messstrecke _____	16
Traffic Tower _____	18
<b>Bereich Automotive</b> _____	<b>20</b>
ViewCar _____	22
VR-Labor und HMI-Lab _____	24
SMPLab _____	26
Dynamischer Fahrsimulator _____	28
FASCar _____	30

Mobilität hat in unserer Wirtschaft und Gesellschaft einen hohen Stellenwert. Menschen wollen sicher, bequem und schnell ihr Ziel erreichen. Güter müssen über kurze und lange Strecken kostengünstig transportiert werden. Folgen der Mobilität zeigen sich in Umweltbelastungen, Unfällen und Staus.

Etwa 100 Wissenschaftler aus unterschiedlichen Fachrichtungen wie Ingenieure, Psychologen und Informatiker erbringen im Institut für Verkehrssystemtechnik an den Standorten Braunschweig und Berlin Forschungs- und Entwicklungsleistungen für Automotive- und Bahnsysteme sowie für das Verkehrsmanagement. Damit leisten sie einen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit und Effizienz des straßen- und schienengebundenen Verkehrs. Sie entwerfen, entwickeln und evaluieren in interdisziplinären Teams Lösungen für nutzerorientierte Fahrerassistenz, zur Verkehrserfassung und -beeinflussung sowie zur Sicherung, Automatisierung und Disposition im Schienenverkehr. Dabei berücksichtigen sie die Anforderungen und Auswirkungen innerhalb des Gesamtverkehrssystems. Die enge Kooperation mit den Instituten und Einrichtungen des DLR ermöglicht die Nutzung von Synergien mit der Luft- und Raumfahrt sowie der Energietechnik.

2001 unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer am Braunschweiger Forschungsflughafen gegründet, ist das Institut für Verkehrssystemtechnik seitdem stark gewachsen und hat seine Forschungsaktivitäten ausgebaut. Die Wissenschaftler arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene mit Partnern und Kunden aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zusammen.

Die Qualität der Arbeit des Instituts ist nach ISO 9001:2008 und VDA 6.2 zertifiziert. Darüber hinaus wurde der Bereich Bahnsysteme durch das Eisenbahn-Cert (EBC) als Unterauftragnehmer der Benannten Stelle „Interoperabilität“ anerkannt.

# Spektrum der Forschung

Das DLR verbindet im Schwerpunkt Verkehr Grundlagenforschung mit angewandter Industrieforschung. Zur Sicherung der Mobilität und zur Verbesserung der Sicherheit im Verkehr verfolgen wir grundlegende Fragestellungen und arbeiten mit Partnern aus Industrie und Forschung zusammen.

## Grundlagenforschung

Als öffentliche Großforschungseinrichtung betreiben wir Grundlagenforschung. Wir erarbeiten in Untersuchungen und Studien grundlegende Erkenntnisse über das Verkehrssystem, die Verkehrsteilnehmer und Technologien. Die Grundlagenforschung stiftet die Basis für Innovationen und ermöglicht damit eine nachhaltige Entwicklung der Mobilität für Gesellschaft und Wirtschaft.

## Großanlagen

Wir betreiben Großforschungsanlagen, um Daten für empirische Untersuchungen zu gewinnen, Forschungsergebnisse zu validieren und prototypische Entwicklungen zu testen. Das Spektrum der Anlagen umfasst dabei Einrichtungen und Fahrzeuge zur Datenerhebung und Systemvalidierung sowie einfache und komplexe Simulationsumgebungen. Für Untersuchungen mit Testfahrern verfügen wir über einen umfangreichen Testfahrerpool, aus dem für jede Untersuchung eine passende Testgruppe zusammengestellt wird.

Mit den Großforschungsanlagen stellt das DLR eine Experimentalinfrastruktur bereit, deren Betrieb und kontinuierliche Weiterentwicklung wegen ihrer Größe und Komplexität für viele Unternehmen zu aufwändig ist. Damit ermöglichen wir unseren Partnern aus Industrie und Forschung die Erprobung ihrer prototypischen Entwicklungen und innovativen Produkte.

## Synergien im DLR

Kooperationen mit anderen DLR-Instituten erweitern unseren Horizont und damit das Angebot, das das DLR seinen Partnern machen kann. Beispiele aus dem Spektrum der synergetischen Arbeiten im DLR sind Verkehrslageerfassung aus Überfliegungen, Ortungsanwendungen aus Satellitendaten oder auch haptische Interaktionskonzepte für Autos und Hubschrauber.

## Kooperation mit Partnern

Wir arbeiten in Projekten mit Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Unternehmen in nationalen, europäischen wie internationalen Projekten zusammen. Wir bringen in nationalen und internationalen Gremien in aktuelle Diskussionen ein und gestalten den wissenschaftlichen Diskurs in Programmausschüssen und Verbänden mit.

## Im Auftrag der Industrie

Neben Kooperationen mehrerer Partner im Auftrag von Bund oder EU führt das DLR auch Untersuchungen für einzelne Unternehmen durch. Zum Spektrum der bilateralen Projekte gehören Untersuchungen einzelner Aspekte sowie komplexer Fragestellungen, die Entwicklung von Funktionen und Systemen sowie die Erprobung und Validation von eigenen wie gemeinsam entwickelten Prototypen.

# Bereich Bahnsysteme

Die Globalisierung der Wirtschaft und der steigende Mobilitätsbedarf führen zu einem enormen Wachstum des Verkehrsaufkommens, das hauptsächlich von der Straße aufgenommen wird. Um diesem Trend entgegenzuwirken, muss die Wettbewerbsfähigkeit des Verkehrsträgers Schiene erhöht werden. Schlüsselfaktoren dabei sind die wirtschaftliche und effiziente Nutzung der Schienennetze sowie technische und betriebliche Interoperabilität.

Die Forschungsaktivitäten im Bereich Bahnsysteme konzentrieren sich auf die Entwicklung und Erarbeitung innovativer Technologien, Methoden und Konzepte für die betriebliche, technische und wirtschaftliche Optimierung des Systems Bahn im Kontext der Bahnautomatisierung. Ziel ist es, den Schienenverkehr sicher, effizient und wettbewerbsfähig zu gestalten und die europäische Harmonisierung voranzutreiben.

## Betriebsführung

Einen Forschungsschwerpunkt des Bereichs Bahnsysteme bildet daher das Thema Life-Cycle-Management. Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklusses der Leit- und Sicherungstechnik (LST) werden Ansatzpunkte für Kostensenkungen identifiziert. Der Fokus liegt dabei auf Beschaffung und Instandhaltung der Systeme sowie in der ganzheitlichen Optimierung der Migrationsprozesse für neue technische Lösungen. Ziele sind die Entwicklung kostenoptimaler Technik und der Aufbau eines ganzheitlichen Asset Managements.

Auf Regionalstrecken führen hohe Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen sowie die zum Teil manuelle Betriebsführung zu erheblichen Kosten. Entscheidende Erfolgsfaktoren für Effizienzsteigerungen sind innovative technische und betriebliche Lösungsansätze unter Anwendung von Standardkomponenten sowie die funktionale und betriebliche Optimierung

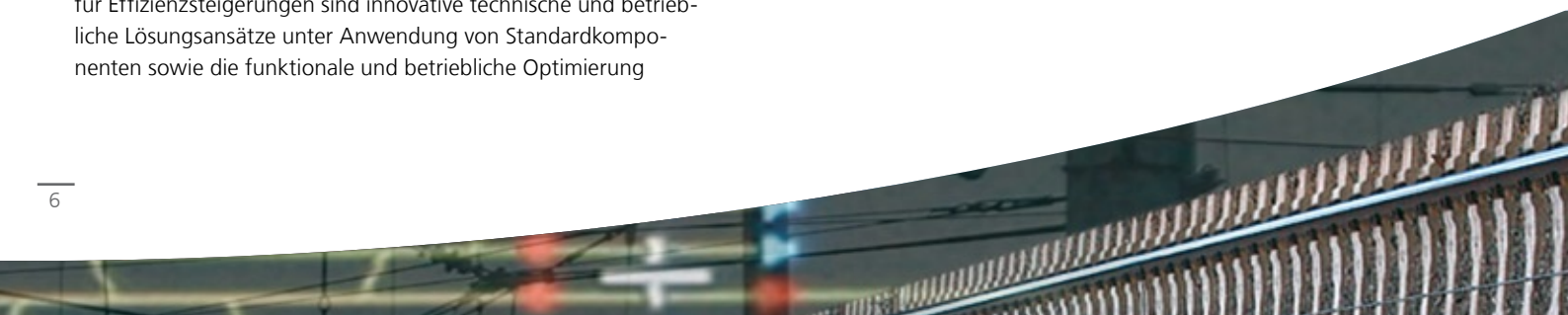
unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten (LCC) und der RAMS-Aspekte Reliability, Availability, Maintainability, Safety. Die unterschiedlichen, am Institut entwickelten Ansätze werden auf der Basis von Betriebssimulationen bewertet.

Ein sicherer Schienenverkehr stellt hohe Anforderungen sowohl an die Betriebsdurchführung als auch an die Technik. Sicherheitsnachweisführung und Zulassungsprozess sind entsprechend komplex und aufwändig. Zur Optimierung dieser Prozesse bietet das Institut methodische Unterstützung.

Im Hinblick auf die Sicherheit und die Performance des Schienenverkehrs spielt der Mensch eine große Rolle. Daher sind Rail Human Factors ein weiteres Forschungsthema im Bereich Bahnsysteme.

## Bahntechnik

Die Spezifikation des einheitlichen europäischen Zugbeeinflussungssystems ETCS (European Train Control System) und seine Entwicklung bis zur Einsatzreife bilden die technischen Grundlagen für die europaweite Harmonisierung des Schienenverkehrs. Das Institut bearbeitet technische und betriebliche Themenstellungen zu ETCS. Die Entwicklung flexibler Verfahren zum Nachweis der Konformität und Interoperabilität sowie die Durchführung der entsprechenden Tests bilden die Forschungsschwerpunkte. Zur Optimierung der Tests soll der gesamte Testverlauf – von der Testfallgenerierung über die Durchführung der Tests bis zur Auswertung der Ergebnisse – weitestgehend automatisiert werden.



Das eisenbahntechnische Labor bietet die Möglichkeit, Systeme, Subsysteme und Komponenten der Eisenbahnleit- und Eisenbahnsicherungstechnik sowie Betriebskonzepte zu analysieren. Eine Validation des Zusammenspiels von Systemkomponenten unterschiedlicher Hersteller aus funktionaler und sicherheitstechnischer Sicht ist möglich.

Aufgrund des modularen Aufbaus ist die Flexibilität und Erweiterungsfähigkeit des Labors sichergestellt, so dass neben reinen Softwaresimulationen auch Hardware-in-the-loop- und Cross-Reference-Tests durchgeführt werden können.

Mit der Zertifizierung als „Unterauftragnehmer der Benannten Stelle Interoperabilität“ durch das Eisenbahn-Cert (EBC) verfügt das Institut mit dem RailSiTe über ein europaweit anerkanntes Eisenbahn-Prüflabor.

## Ausstattung

Das RailSiTe bildet die komplette Kette vom Stellwerksbediener über Strecke und Zugdynamik bis hin zum Triebfahrzeugführer ab. Die derzeit im Labor implementierte Technik basiert auf ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/ European Train Control System). Das RailSiTe besteht u. a. aus folgenden simulierten Komponenten, die ggf. durch reale Komponenten ersetzt werden können:

- Stellwerk, Radio Block Center
- Eurobalisen-, Euroloop- und Euroradio-Übertragung
- Zugsteuerung, Zugdynamik, Odometrie
- Leit- und Sicherungstechnikrechner



Ergänzt wird das RailSiTe durch einen realistischen Lokführerstand inklusive Fahrerkabine und einer Umweltsimulation mit Visualisierung und Umweltgeräuschen.

Weiterhin sind ein Bedienplatz für ein elektronisches Stellwerk und ein Bahnübergang in das Bahnlabor integriert. Möglich ist auch die Einbindung weiterer, am Institut vorhandener Infrastruktur (z.B. Bewegungsplattform des dynamischen Fahrsimulators).

## Anwendungsgebiete

Der primäre Einsatz des RailSiTe ergibt sich aus den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu Betriebsführung und Bahntechnik des Instituts. Darüber hinaus wird das RailSiTe zur Verifikation von Komponenten, Systemen und Subsystemen eingesetzt. Auch können Konformitäts- und Interoperabilitätstests (z.B. für ETCS) durchgeführt werden.

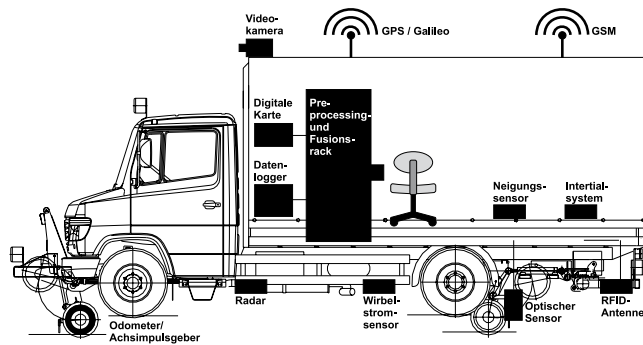
Ein weiteres Einsatzgebiet stellt die betriebliche Validation von unterschiedlichen Ausrüstungs- und Einsatzvarianten dar. Aufgrund der multidisziplinären Ausrichtung des Instituts können auch Forschungsarbeiten im Bereich Ergonomie und Human Factors durchgeführt werden.



Moderne Betriebsverfahren mit hohen Anforderungen an Effizienz und Sicherheit erfordern eine kontinuierliche, fahrzeugbasierte Ortung. Die Funktionalität der fahrzeugseitigen Ortungssensorik und der benötigten Kommunikationssysteme kann im eisenbahntechnischen Labor RailSiTe simuliert werden. Zur Demonstration der von Normen und Verordnungen geforderten Qualität müssen die Sensoren auch in Feldtests erprobt werden. Dazu hat das Institut das Versuchs- und Messfahrzeug RailDrIVE aufgebaut. Dieses Zweibegefahrzeug ermöglicht als LKW die Vorbereitung der Versuche, bevor es als Schienenfahrzeug direkt auf der gewünschten Teststrecke eingesetzt wird.

## Ausstattung und Einsatzszenarien

Zur Ausstattung des Zweibegefahrzeugs gehören diverse Ortungs- und Kommunikationskomponenten. Damit können Kombinationen verschiedener Sensoren mit unterschiedlichen Ortungsinformationen getestet und evaluiert werden. Die beiden Arbeitsplätze im RailDrIVE erlauben eine erste online-Auswertung der Messdaten während der Feldtests. Auf Preprocessing-Ebene können die Daten der einzelnen Sensoren und deren Signalgüte überwacht werden. Das Ergebnis der anschließenden fahrzeugseitigen Sensordatenfusion liefert eine Aussage über die Ortungsgüte der betrachteten Sensorkombinationen.



## Anwendungsgebiete

Das RailDrIVE dient zur Erprobung neuer Ortungssysteme mit und ohne Sicherheitsverantwortung. Es kann als Plattform für Tests von neuen Ortungskomponenten (z.B. des zukünftigen Europäischen Satellitennavigationssystems) im realen Eisenbahnbetrieb genutzt werden. Darüber hinaus ist das RailDrIVE als mobiles Labor für Untersuchungen verschiedener Sensorkombinationen geeignet. Das Zweibegefahrzeug kann als flexibel einsetzbares Vermessungsfahrzeug auch zur Aufnahme und Validation eines digitalen Streckenatlas auf Straße und Schiene verwendet werden.

Die mögliche Ausrüstung mit weiterer Sensorik sowie der flexible Einsatz auf Straße und Schiene eröffnen ein breites Einsatzgebiet. Vorgesehen ist beispielsweise die Ausrüstung mit Kameras zum Testen der Anwendung bildgebender Verfahren im Bahnbetrieb.



# Bereich Verkehrsmanagement

Verkehrsmanagement kann mit neuen Konzepten für Organisation und Betrieb von Verkehr die Effizienz im Straßenverkehr erhöhen. Die Aufgaben lassen sich in folgende Bereiche gliedern: die Entwicklung innovativer Methoden zum Monitoring von Verkehr (Verkehrserfassung), die Simulation und Prognose des Verkehrsgeschehens, die Entwicklung von Methoden zur Einflussnahme auf Verkehrsabläufe (Verkehrsbeeinflussung) sowie die Bewertung der Qualität des Verkehrs. Die Arbeiten im Institut konzentrieren sich dabei vor allem auf das Management großer Verkehrssysteme (z.B. Ballungsräume) und bei speziellen Ereignissen.

## Verkehrserfassung

Zur Erfassung des Verkehrszustands in großen Gebieten (z.B. in Ballungsräumen) entwickelt das Institut neue Ansätze und Verfahren. Schwerpunkte bilden dabei die Erfassung mit bildgebenden Verfahren und die zeitgenaue Ortsbestimmung anhand so genannter Floating Car Data (FCD).

Bildverarbeitung zur Objektbeobachtung sowie die Fusion der Informationen verschiedenster Sensoren bilden die Grundlage für eine verlässliche Situationserfassung und -beurteilung. Optische Sensoren können dabei sowohl auf stationären (z.B. DLR-Messstrecke) als auch auf mobilen Plattformen (z.B. DLR-Messfahrzeuge) montiert werden. Für das Verkehrsmanagement von Großereignissen werden Kameras auch auf fliegenden Trägern eingesetzt. Solch ein luftgestütztes Verfahren benötigt zusätzlich anspruchsvolle Methoden der Ortung und der Datenübertragung, die zunehmend auch im terrestrischen Umfeld relevant sind.

Floating Car Data ermöglichen die zeitgenaue Ortsbestimmung von Fahrzeugen. Dieses Verfahren nutzt die bei großen Fahrzeugflotten vorhandenen Dispositionssysteme, mit denen Fahrzeuge zu neuen Zielen dirigiert werden. Die dabei anfallenden Daten sind eine wertvolle Ressource für Telematik-, Logistik- und Routing-Anwendungen, da damit Reisezeiten flächendeckend ermittelt werden können.

## Verkehrssimulation und -prognose

Die Verkehrssimulation ist ein wichtiges Werkzeug für die Prognose von Verkehr und zur Bewertung von Verkehrsmanagementmaßnahmen. Das Institut entwickelt das open source Programm SUMO, mit dem ein Untersuchungsgebiet detailliert (mikroskopisch) simuliert werden kann. Damit werden Verkehrsmodelle kalibriert und validiert. Die Simulation kann mit Daten aus der realen Welt gekoppelt werden. Zur Prognose werden Verfahren angewendet, die auf der Simulation oder auf erkannten Mustern basieren (muster- oder regelbasierte Prognose).

## Verkehrsbeeinflussung

Die Forschungsaktivitäten zur Verkehrsbeeinflussung behandeln Steuerung und Management des Straßenverkehrs. Dabei werden Lösungen zur Integration, Modellierung und Bewertung von Straßenverkehrsdaten genauso bewertet und entwickelt wie Strategien zur Verkehrsbeeinflussung. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf den Methoden und Verfahren, die zum Verkehrsmanagement von Katastrophen und Großereignissen notwendig sind. Die Arbeiten werden durch die Großanlage Traffic Tower, eine virtuelle Verkehrsmanagementzentrale, unterstützt.

## Qualität im Verkehr

Die Qualität des Verkehrsflusses ist wichtig für den Straßenverkehr: Dies bedeutet wenige Staus und geringe Reisezeiten. Kommunen, Länder und andere Entscheidungsträger müssen diese Qualität sowohl planerisch durch Bereitstellung von Infrastruktur als auch operativ durch geeignete Verkehrsmanagementmaßnahmen gewährleisten. Das Institut unterstützt hier die Beurteilung und Folgenabschätzung von Maßnahmen zur Verkehrsbeeinflussung (z.B. durch Vorher-Nachher-Betrachtung). Es trägt mit neuen Methoden zur Verkehrsdatenerfassung auch zu einer verbesserten Datengrundlage zur Messung und Beurteilung der Qualität bei.

# Messfahrzeuge

Für die Planung, Simulation und Steuerung von Verkehrssystemen müssen zunächst Verkehrsdaten erhoben werden. Mobile Erfassungseinheiten bieten den Vorteil, dass sie unabhängig von Datenprovidern und Räumlichkeiten eigene, spezifische Daten erheben und verarbeiten können. Das Institut betreibt zwei Fahrzeuge, die mit verschiedenen Sensoren und Systemen zur Datenerfassung und -bearbeitung ausgestattet sind.

## Ausstattung

Eine Vielzahl von Sensoren und Systemen ermöglicht die Beobachtung und Analyse selbst komplexer Verkehrssituationen:

- ein automatisches Videomesssystem zur Erfassung von Verkehrsströmen (Fahrzeuge aber auch Fußgänger, z.B. Zuschauerströme bei Großveranstaltungen), Geschwindigkeiten, für Verkehrsmonitoring und Verkehrsszenenerfassung
- 2-Bereichs-Radarsystem zur synchronisierten Messung der Fahrdynamik des Messfahrzeugs und des aktuellen Fahrzeugumfelds durch Erfassung von Geschwindigkeiten anderer Fahrzeuge
- D-GPS zur dezimetergenauen Positionsbestimmung
- Sensoren zur Erfassung von Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Gierraten und Neigungen
- 13 Meter hoher Teleskopmast mit flexibler Montageplattform für eine hohe Positionierung von Kameras und Sensoren zur Kreuzungsbeobachtung



Eine autarke, unterbrechungsfreie Netz-Stromversorgung gewährleistet ein sicheres Datenhandling.

## Einsatzmöglichkeiten

Im mobilen sowie im stationären Betrieb können Verkehrsdaten und -szenen automatisiert erhoben werden. Im mobilen Betrieb sind das z.B. Fahrzeuggeschwindigkeiten, Abstände zum vorausfahrenden und nachfolgenden Verkehr, aktuelle GPS-Positionen, Fahrzeugbeschleunigungen und -verzögerungen sowie CAN-Bus-Daten. Im stationären Betrieb können Sensoren und Kameras am 13 Meter hohen ausfahrbaren Mast Daten beispielsweise zur Kreuzungsbeobachtung aufnehmen.

Die Messfahrzeuge dienen darüber hinaus als Testplattform für fahrzeugseitige Sensoren und kommen für Referenzmessungen für neue Verkehrssensoren zum Einsatz.



# Messstrecke

Genau und verlässliche Verkehrsdaten bilden die Basis für eine realistische Verkehrssimulation und -prognose. Für das Testen von neuen Methoden und Sensoren unter realen Einsatzbedingungen hat das DLR auf dem Ernst-Ruska-Ufer in Berlin eine 1,2 Kilometer lange Mess- und Versuchsstrecke aufgebaut. Etwa 30.000 Fahrzeuge liefern täglich auf ihrem Weg von den Berliner Stadtteilen Adlershof und Köpenick zur BAB 113 Informationen zum Verkehrsfluss.

## Ausstattung

Die Messstrecke ist mit Mess- und Beobachtungstechnik ausgerüstet, die zum einen in der Straße verbaut und zum anderen auf zwei begehbaren Schilderbrücken angebracht ist. Vier Streckenstationen sammeln die ermittelten Daten, bereiten sie normgerecht (TLS-Standard) auf und übermitteln sie in die Verkehrsrechnerzentrale. Zur installierten Sensorik gehören...

...auf den Schilderbrücken:

- 16 Digitalkameras und 3 Analogkameras mit Zoom und Schwenk-Neigekopf zur Verkehrsbeobachtung und Bildverarbeitung
- Acht Radarsensoren zur Detektion von Fahrzeugen (Fahrzeugtyp, Fahrzeugmenge, Geschwindigkeit)
- Sichtweitenmessgerät (10m bis 500m)
- Wetterstation zur Messung der Umfeldbedingungen (Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Windrichtung und -stärke, Niederschlagsstärke und -menge sowie Helligkeit)



...in der Fahrbahn:

- 45 Doppelinduktionsschleifen zur Detektion von Fahrzeugen (Fahrzeugtyp, Fahrzeugmenge, Geschwindigkeit)
- Bodensensor zur Überprüfung des Fahrbahnzustandes (trocken, feucht, nass, Glatteis), der Fahrbahntemperatur, der Wasserfilmdicke, des Restsalzgehaltes sowie zur Ermittlung der voraussichtlichen Gefrierpunktemperatur

## Anwendung

Die begehbaren Schilderbrücken bieten sich als ideale Standorte für die Erprobung und Validierung neuer, innovativer Verkehrserfassungssensoren an. Die Lichtwellen-Datenleitungen zwischen den Schilderbrücken, den Streckenstationen und der Verkehrsrechnerzentrale sind entsprechend für zusätzliche hohe Datenströme ausgelegt.

In der Verkehrsrechnerzentrale des DLR werden die erhobenen Daten in einer Datenbank archiviert und können über eine Unterzentrale visuell in Diagrammen oder Tabellen aufgearbeitet werden. Parallel dazu können auch Einzelfahrzeugdaten von jeder Doppelschleife oder jedem Radarsensor separat aufgezeichnet werden. Dadurch bestehen sehr effiziente Beobachtungsmöglichkeiten zur Überprüfung der Qualität und Zuverlässigkeit von Sensoren.



# Traffic Tower

Mit dem Traffic Tower entwickelt das DLR eine virtuelle Verkehrsmanagementzentrale. Ob Verkehrsmonitoring bei Großveranstaltungen oder Evaluation von Verkehrssteuerungsalgorithmen – der Traffic Tower unterstützt die Forschung des Instituts durch die virtuelle Abbildung und die Simulation von Straßenverkehr und Verkehrsbeeinflussungsanlagen.

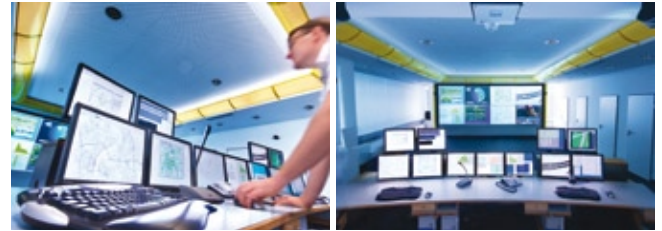
## Ausstattung und Anwendung

Der Traffic Tower ist mit Systemen und Funktionen zur Simulation, Nachfrageberechnung und Verkehrslagedarstellung ausgestattet.

Die Simulationssoftware SUMO bildet den Straßenverkehr virtuell ab und bezieht dabei auch Verkehrsnachfrage und Verkehrssteuerungsinfrastruktur ein. Es entsteht eine virtuelle Abbildung realer Situationen und Gegebenheiten in der Simulation, die sowohl Autobahnen als auch Stadtstraßen berücksichtigt. Damit können beispielsweise die Qualität von Steuerungsverfahren objektiv bewertet oder neue Verfahren zur Datenfusion getestet werden.

Im Onlinebetrieb können aktuelle Messwerte realer Sensoren integriert werden, um die Entwicklung des Verkehrs in Echtzeit zu prognostizieren. Durch Änderung von Verkehrsnachfrage, Infrastruktur oder Steuerungsmaßnahmen in der Simulation können Verkehrssituationen szenarienbasiert analysiert und Maßnahmen optimiert werden.

Für die Simulation des Verkehrs einer Region verfügt der Traffic Tower über verschiedene Methoden und Systeme. Aus einer Verkehrsnachfragematrix für Deutschland wird in Kombination mit lokalen Matrizen oder statistischen Verkehrszählungen eine Grundnachfrage für die betreffende Region berechnet. Umlenkmuster erzeugen aus den Matrizen Fahrtenlisten, die als Eingangswerte in die Simulation einfließen. Algorithmen zur Datenfusion passen in der Simulation die vorberechneten Routen den gemessenen Werten an, so dass eine flächige Abbildung der aktuellen Verkehrssituation einer Region entsteht.



Kommunale wie auch Verkehrsrechnerzentralen für Bundesautobahnen können mit dem Traffic Tower gekoppelt werden, um diese mit Verkehrssimulationen in ihren Entscheidungen zu unterstützen. Das ermöglichen diverse Hard- und Softwaresysteme, z.B. nach dem Standard des bundeseinheitlichen Software-Basis-systems für Verkehrsrechnerzentralen („Datenverteiler“).

Die Räumlichkeiten des Traffic Towers sind realen Verkehrs- und Leitzentralen nachempfunden und ausgestattet mit Großbildleinwand, Operatorarbeitsplätzen, PC- und Serverinfrastruktur.

## Ausblick

In den kommenden Entwicklungsstufen wird der Traffic Tower um Systeme vor allem im Bereich Verkehrssteuerung erweitert. Derzeit werden Systeme zur Anwendung im Katastrophen- und Ereignisfall entwickelt und im Traffic Tower verfügbar gemacht. Im Mittelpunkt steht die Entscheidungsunterstützung von Verkehrsbehörden und Einsatzkräften. Ziel ist es, das Verkehrsmanagement im Ereignisfall durch die entwickelten Anwendungen zu optimieren.



# Bereich Automotive

Die meisten Unfälle entstehen durch das Fehlverhalten des Fahrers. Assistenzsysteme unterstützen den Fahrer und können Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr daher nachhaltig erhöhen. Das Institut für Verkehrssystemtechnik untersucht Fahrerverhalten, Beanspruchung und Unfälle, um daraus Anforderungen für Fahrerassistenzsysteme abzuleiten. Unter psychologischen und ergonomischen Gesichtspunkten wird die Fahrerassistenzfunktion vor dem gesamten technologischen Hintergrund des DLR dann so umgesetzt, dass sie den Fähigkeiten und Erwartungen des Fahrers entspricht. Die Umsetzung wird in Fahrversuchen in der Simulation sowie im Realverkehr überprüft.

## Human Factors

Die Kenntnis von Zustand und Verhalten des Fahrers mit und ohne Assistenz sind wesentlich für eine menschenzentrierte Entwicklung von Fahrerassistenz. Zunächst muss verstanden werden, wie Fahrer das Fahren auch in schwierigen Situationen meistern, wann ihre Belastung Grenzen erreicht und warum Fahrerfehler entstehen. Dazu führt das Institut empirische Untersuchungen zur Entstehung von Fahrfehlern und zu unangemessener Beanspruchung durch. Mit den Ergebnissen werden psychologische und physiologische Modelle des Fahrerverhaltens entwickelt. Daraus können Anforderungen an Funktionalität und Eingriffsstrategien von Fahrerassistenzsystemen abgeleitet werden.

## Konzepte und Technik

Fahrerassistenzsysteme tragen nur dann zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei, wenn sie den Bedürfnissen des Fahrers entsprechen. Mit diesem fahrerzentrierten Ansatz werden Assistenzsysteme entwickelt und prototypisch umgesetzt, die den Fahrer seinen Fähigkeiten und Erwartungen entsprechend unterstützen. Zur Ermittlung sinnvoller Assistenzfunktionen (z.B. das Verlassen der Fahrspur vermeiden) und Interaktionsstrategien (z.B. ein

akustisches Warnsignal) werden empirische Untersuchungen durchgeführt.

Das Institut konzipiert Assistenzsysteme und -funktionen auch in technischer Hinsicht. Dazu gehört die Entwicklung eines Verständnisses der Umwelt von der Aufnahme von Informationen bis zu ihrer Interpretation. Hierzu werden verschiedenste Technologien auch aus der Luft- und Raumfahrt verwendet – von der Bildverarbeitung über Ortung und Kommunikation bis hin zu Regelungs- und Planungsalgorithmen. Für eine effektive Integration von Funktionen werden flexible und modulare Systemarchitekturen entwickelt. Die Forschung zu neuen, alternativen Mensch-Maschine-Schnittstellen ergänzt die technische Seite des Systemdesigns um ergonomische Aspekte.

## Methoden und Werkzeuge

Fahrerverhalten mit und ohne Assistenz wird in der Simulation und im Realverkehr untersucht. Das Messfahrzeug ViewCar dient der Analyse des Fahrerverhaltens im Realverkehr. Die Simulation eignet sich besonders für die Untersuchung seltener oder gefährlicher Situationen. Durch das gezielte Erstellen und die exakte Wiederholbarkeit von Szenarien liefert die Simulation vergleichbare Ergebnisse. Virtual Reality-Lab und HMI-Lab ermöglichen bei einigen Studien durch einen weitgehenden Verzicht auf Hardware eine flexible und kostengünstige Erprobung von prototypischen Entwicklungen. Neue Interaktionsstrategien werden im modularen Labor SMPLab schnell und flexibel erprobt. Der dynamische Fahrsimulator bietet durch umfassende Projektion, integriertes Fahrzeug und Bewegungssystem ein sehr realitätsnahes Fahrgefühl, das für die Erprobung von Assistenz im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium eingesetzt wird. Das Testfahrzeug FASCar dient der Bewertung unter realen Bedingungen. Für jede Untersuchung wird aus unserem umfangreichen Testfahrerpool eine passende Testgruppe zusammengestellt.



Das ViewCar ist ein Messfahrzeug zur Analyse der Wahrnehmungsprozesse und des Verhaltens von Fahrern im Straßenverkehr. Es ist mit Sensoren zur Messung und Aufzeichnung der Verkehrsumgebung, der Bedienung des Fahrzeugs und des resultierenden Fahrzeugverhaltens ausgestattet. Damit ermöglicht das ViewCar Untersuchungen zum Verstehen und zur Modellierung des Fahrerverhaltens.

## Ausstattung

Das ViewCar wurde mit umfassender Sensorik ausgestattet, um Daten als Grundlage für die Forschungsbereiche Fahrermodellierung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, kognitives Fahrverhalten und Fahrzeugführung zu gewinnen. Die Ausstattung des ViewCar erlaubt eine zeitsynchrone Messung und Aufzeichnung unterschiedlicher Messdaten:

- Blickrichtung des Fahrers
- physiologische Daten des Fahrers (z.B. Puls, Hautleitwert)
- fahrzeugspezifische Daten
- hochauflösende Lenkradbewegung
- Verkehrsszenarioanalyse durch Kameras
- Objekterkennung im vorderen Bereich des Fahrzeuges (Laserscanner, Radar)
- Spurerkennung
- hochgenaue Ortung



## Anwendung

In der Abteilung Human Factors des Instituts wird ein kognitives Modell für das Fahrerverhalten entwickelt. Hierfür liefert das ViewCar die benötigten Daten über das Verhalten verschiedener Fahrer in definierten Szenarien. Daraus können typische Verhaltensmuster abgeleitet und Defizite erkannt werden.

Die Abteilung Konzepte und Technik für Fahrerassistenz beschäftigt sich mit dem Unterstützungsbedarf verschiedener Fahrertypen in bestimmten Situationen sowie mit der Untersuchung neuer Konzepte für Assistenzfunktionen und ihrer Wirkung auf den Fahrer. Das ViewCar dient hier zur Aufdeckung von Schwachstellen.

Zusätzlich können Informationssysteme, wie z.B. Nachtsichtsysteme oder erweiterte Navigationssysteme prototypenhaft in das Fahrzeug integriert werden, was eine Bewertung solcher Systeme ermöglicht.



## VR-Labor und HMI-Lab

Im Virtual-Reality-Labor (VR-Labor) und im Human-Machine-Interface-Labor (HMI-Lab) können neue Fahrerassistenzsysteme und -funktionen schnell und flexibel hinsichtlich Nutzbarkeit und Akzeptanz bewertet werden. Dazu verzichten beide Labore fast vollständig auf reale Hardware: Ein Sitz mit Lenkrad und Pedalerie dient zur Steuerung des virtuellen Fahrzeugs, eine Mittelkonsole mit Touchscreen kann bei Bedarf die Simulation erweitern, der übrige Innenraum des Fahrzeugs ist aber nur virtuell vorhanden.

### Ausstattung

Über reale Fahrzeugbussysteme (z. B. CAN) können reale sowie virtuelle Komponenten angeschlossen und getestet werden. Dazu gehören z.B. ein Multifunktions-Display, Force-Feedback-Pedalerie und -Lenkrad sowie eine Mittelkonsole mit Tiptronic-Schalt- hebel. Darüber hinaus können hier prototypische Systeme aus der Industrie mit dem simulierten Fahrzeug verbunden werden.

Virtuelle Landschaften werden je nach Versuchsanforderung erstellt oder modifiziert. Mittels einfacher Skripte erzeugt und steuert ein Rechner autonome Verkehrsteilnehmer in der Simulation. Jede beliebige Kombination aus Fahraufgaben ist genau reproduzierbar. Dabei kann optional auch eine Sprachausgabe, beispielsweise für Richtungsangaben, realisiert werden.

Zur Datenaufzeichnung steht eine große Auswahl an Messgrößen, sowohl Daten aus der Simulation als auch Daten des simulierten CAN-Busses, zur Verfügung. Optional kann ein Blickverfolgungssystem analog zum ViewCar installiert werden. Die Versuche können durch die Messung physiologischer Werte ergänzt werden.

Deutlich unterschiedlich ist das Projektionssystem beider Anlagen. Während das HMI-Lab die virtuelle Landschaft mit einem Blickwinkel von 120° in Mono-Projektion darstellt, erlebt der Fahrer im VR-Labor eine 270° füllende Stereo-Projektion.

Dadurch sind realistische, räumlich wahrnehmbare Simulationen eines Autocockpits sowie der Umwelt möglich. Um die



Illusion weiter zu verbessern, misst im VR-Labor ein Ultraschall-Headtracking-System kontinuierlich die genaue Kopfposition und -orientierung des Betrachters und passt die Bildperspektive entsprechend an.

### Anwendung

VR-Labor und HMI-Lab dienen der frühen und kostengünstigen Evaluierung neuer Assistenzsysteme. Durch die Stereo-Projektion entsteht für den Probanden ein räumlicher Eindruck, der ihm das Gefühl vermittelt, bereits heute im Automobil der Zukunft zu sitzen. Headup-Displays, frei verschiebbare Anzeigen oder auf die Straße projizierte Richtungsanzeigen sind nur einige Beispiele für Systeme, die im realen Versuchsfahrzeug nur schwer und kostenintensiv umsetzbar sind. In den virtuellen Laboren können solche Systeme mit einem wesentlich geringeren Zeit- und Kostenaufwand implementiert und getestet werden. So kann bereits in frühen Entwicklungsstadien das Risiko von Fehlentwicklungen vermindert werden. Gleichzeitig entsteht Spielraum für außergewöhnliche Lösungsansätze, die wegen des finanziellen Aufwands ansonsten nicht verfolgt werden könnten.



Das SMPLab ist ein modulares Labor zur schnellen, prototypischen Entwicklung von Fahrerassistenz- und Automationssystemen (Straightforward Modular Prototyping Laboratory). Neue, kreative Ansätze für eine ergonomische Unterstützung des Fahrers können im SMPLab schnell als Prototyp realisiert (Rapid Prototyping) und getestet werden. Der Aufbau des SMPLab wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Helmholtz-Gemeinschaft gefördert.

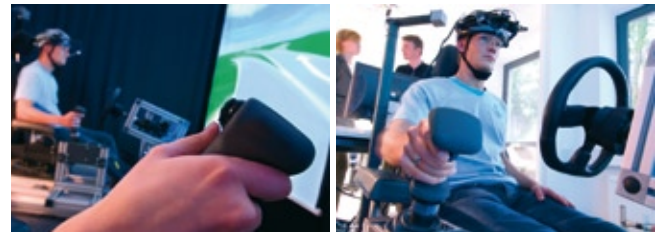
## Aufbau und Ausstattung

Kernstück des SMPLab ist ein kleiner, generischer Fahrsimulator, der fast gänzlich auf herkömmliche Cockpitausstattung verzichtet und damit Spielraum für innovative Konzepte lässt. Reguläre Bestandteile sind ein Sitz, ein Projektionssystem zur Visualisierung der Fahrsituation sowie Schnittstellen zur modularen Erweiterung des Fahrsimulators je nach Fragestellung.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle kann im SMPLab sowohl akustisch, visuell als auch haptisch gestaltet werden. Visuelle Informationen oder Warnungen werden in die Projektion der Fahrzeugumgebung integriert. Für die haptische Rückkopplung stehen aktive Eingabemedien zur Verfügung: aktive Sidesticks, aktive Pedale und ein aktives Lenkrad interagieren mit dem Fahrer z.B. über Widerstand oder Vibration. Ein CAN-Bus ermöglicht zudem die schnelle Integration beliebiger Hardware.

## Theatersystem

Das SMPLab ist auch als Theatersystem einsetzbar. Hinter einem Vorhang spielt ein Wissenschaftler dabei das Assistenzsystem, das den Probanden im Fahrsimulator unterstützt. So können neue Funktionalitäten getestet werden, bevor sie in Software implementiert sind. Die Entwicklung neuer Systeme erfolgt sowohl mit geschlossenem als auch mit offenem Vorhang, so dass die Erwartungen und Erfahrungen der Versuchsperson in den Entwicklungsprozess einfließen können. Die aktiven Eingabemedien (z.B. Sidesticks) vor und hinter dem Vorhang sind elektronisch gekoppelt, damit sie sich synchron bewegen.



## Software

Zum modularen Aufbau des SMPLab gehört auch eine modulare Software. Als Basis dient SMPL++ (Straightforward Modular Prototyping Library in C++), eine Zusammenstellung verschiedener Bibliotheken und Prozesse. Gut strukturierte Module ermöglichen es, prototypische Fahrerassistenzsysteme inklusive einer einfachen Simulation auf nur einem einzigen handelsüblichen PC auszuführen und Software einfach weiterentwickeln zu können. Alle anfallenden Daten können visualisiert und aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnung ist verlustfrei und ermöglicht so die Wiederherstellung vollständiger Speicherzustände jeder Versuchssituation. Auf diese Weise kann direkt in einem Replay gearbeitet werden, so dass auch im Nachhinein das komplette Zusammenspiel zwischen Mensch und Technik bis ins kleinste Detail, aber auch anschaulich analysiert werden kann.

## Anwendung

Der Schwerpunkt des SMPLab liegt auf Ideenfindung, Diskussion und schneller, prototypischer Implementierung von neuen Konzepten für Fahrerassistenz und Automation und deren Test. Damit unterstützt das SMPLab die Forschungen zu Ergonomie und Design in den Themenfeldern Human Factors und Konzepte und Technik für Fahrerassistenz. Die Durchgängigkeit von Software, Hardware und Konzepten ermöglicht die einfache Übertragung im SMPLab entwickelter und erprobter Ideen auf andere Versuchsträger des Instituts, um sie für die Weiterentwicklung mit größerer Realitätsnähe zu testen.



# Dynamischer Fahrsimulator

Für die Erprobung von Assistenzfunktionen in einem fortgeschrittenen Produktstadium kommt der dynamische Fahrsimulator zum Einsatz. Die realitätsnahe Gestaltung der Simulation ermöglicht eine valide Beurteilung der Funktionen auch in kritischen Situationen und damit einen sicheren Übergang in das Versuchsfahrzeug und in den realen Verkehr. Ein realistisches Fahrgefühl vermittelt der Fahrsimulator durch drei Parameter: ein leistungsstarkes Bewegungssystem, ein hochwertiges Projektionssystem mit einer entsprechenden Visualisierung und die Integration eines kompletten Fahrzeugs.

## Bewegungssystem

Das Bewegungssystem des Fahrsimulators zeichnet sich durch den weltweit erstmaligen Einsatz eines Hexapod-Systems aus, bei dem die Kabine unterhalb der oberen Gelenke eingehängt ist. Diese neuartige Konstruktion ermöglicht große lineare Bewegungen von etwa drei Metern trotz geringer Bauhöhe. Zudem sind in diesem System alle Freiheitsgrade unabhängig voneinander steuerbar. Der Simulator zählt mit seiner Nutzlast von ca. 1,3 Tonnen und den unten aufgeführten Daten zu den leistungsfähigsten Fahrsimulatoren Europas.

	Weg	Geschwindigkeit	Beschleunigung
Längs Quer Vertikal	±1,5 m	±2 m/s	±10 m/s <sup>2</sup>
Wanken Nicken Gieren	±20 °	±50 °/s	±250 °/s <sup>2</sup>

Die möglichst realitätsnahe Umsetzung der Fahrzeugbeschleunigungen durch darstellbare Bewegungen des Simulators (Motion Cueing) wird gezielt für einzelne Fahrsituationen oder Fahrmanöver angepasst. Mit der resultierenden, spürbaren Beschleunigungsrückmeldung des Fahrzeugs an den Fahrer kann ein ähnliches Fahrverhalten wie im Realverkehr beobachtet werden, so dass im Simulator gezeigte Effekte in die Realität übertragbar sind.



## Projektionssystem

Ein hochwertiges Projektionssystem sorgt für die Visualisierung von Umwelt und Verkehrsgeschehen. Ein großes Blickfeld nach vorne und zu den Seiten (270°x40°), verbunden mit einer hohen Auflösung von insgesamt etwa 9200x1280 Pixeln, ermöglicht eine detailreiche Darstellung. Neben dem Blickfeld nach vorne kann der Proband auch das simulierte Verkehrsgeschehen hinter sich über den Rückspiegel auf einem Bildschirm sowie über LC-Displays in den Seitenspiegeln beobachten. Die Verwendung eines neunkanaligen Rückprojektionssystems erlaubt auch den Einbau großer Fahrzeugkabinen, ohne den Strahlengang zu blockieren.

## Cockpit

Für den realistischen Gesamteindruck ist die unmittelbare Umgebung des Fahrers von großer Bedeutung. Daher wurde ein komplettes Fahrzeug in die Kabine integriert, mit dem der Proband den Simulator „fährt“. Die Aktionen des Fahrers werden über CAN-Bus an die Simulationsrechner übermittelt, umgekehrt steuert das Simulationssystem die Instrumente im Cockpit, die dem Fahrer z.B. Auskunft über seine Geschwindigkeit geben. Alle vom Fahrer gemachten Eingaben und Aktionen, vom Bremsen über das Lenken bis hin zum Bedienen des Autoradios, können aufgezeichnet und ausgewertet werden. Anzeigen und Bedienelemente lassen sich bei Bedarf ergänzen oder ersetzen. Komplettiert wird der Gesamteindruck durch ein Surround-Soundsystem, das die Umgebungs- und Fahrzeuggeräusche über die eingebauten Lautsprecher wiedergibt.



Aktive Eingriffe können Autofahren sicherer machen – falsch eingesetzt können sie jedoch auch eine Gefahr bedeuten. Das Institut entwickelt Fahrerassistenz daher nach den Anforderungen und Bedürfnissen des Fahrers. Um herauszufinden, ob der Fahrer richtig auf die Eingriffe eines neuen Assistenzsystems reagiert, sind Fahrten mit dem FASCar der letzte konsequente Schritt der Entwicklung.

Das FASCar ist ein Versuchsfahrzeug zur Erprobung neuartiger, aktiver Assistenzfunktionen mit einem Schwerpunkt auf haptischer Fahrerassistenz. Es bietet zwei Betriebsarten. Die Betriebsart „Straße“ genügt höchsten Sicherheitsanforderungen für Untersuchungen im realen Straßenverkehr. Fahrerassistenz greift dabei nur beschränkt aktiv ein, Übersteuern und sicheres Abschalten der Systeme ist jederzeit möglich. In der Betriebsart „Testgelände“ können alle Eingriffsmöglichkeiten bis hin zum autonomen Fahren voll genutzt werden. Dabei werden Gas, Bremse und Lenkrad durch einen „virtuellen Copiloten“ angesteuert.

## Ausstattung

Für beliebige Eingriffe in die Fahrzeugdynamik bis hin zum autonomen Fahren sind im FASCar einige Zusatzeinbauten installiert:

- Aktiver Bremskraftverstärker für einen Bremsdruck bis 150 bar
- Steuergerät zum elektronischen Gasgeben über Gaspedal, Sidestick oder externe Ansteuerung
- Aktives Gaspedal für haptische Signale am Fahrerfuß
- Lenkstangenmotor für Eingriffe in die Lenkvorgänge
- Sensoren zur Umgebungswahrnehmung wie z.B. Radar und optisches Spurfindungssystem
- Recherausstattung für Entwicklung und Test prototypischer Assistenzsysteme und zur Aufzeichnung und Visualisierung von Messdaten



Das FASCar kann durch seinen modularen Aufbau je nach Versuchsanforderung flexibel mit weiterer Sensorik und Aktorik ausgestattet werden.

## Anwendung

Im Institut für Verkehrssystemtechnik werden unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme entwickelt, um das Autofahren sicherer und bedienerfreundlicher zu machen. Der Trend geht dabei zunehmend von der passiven zur aktiven Sicherheit und damit auch vom manuellen zum semiautonomen Fahren. Dabei ergänzen sich der menschliche Fahrer und ein virtueller Copilot bei der Ausführung der Fahraufgaben. Assistenzsysteme, die den haptischen Wahrnehmungskanal nutzen, machen ein sehr schnelles Feedback vom virtuellen Copiloten zum Fahrer möglich. Beispielsweise kann ein semi-autonomer, haptischer Querführungsassistent dem Fahrer durch kurze Lenkeingriffe den sicheren Pfad vorschlagen.

Das Institut sowie seine Kunden und Partner können durch die offene Architektur des FASCar prototypische oder auch serien-nahe Fahrerassistenzsysteme zum Testen und Prüfen implementieren. Diese können als Code integriert oder auch als eigene Steuergeräte über CAN angebunden werden.



# Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR ca. 5.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.



DLR

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Institut für Verkehrssystemtechnik**

Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer

Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig  
Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin

Telefon: 0531 / 295-3401

Telefax: 0531 / 295-3402

E-Mail: [verkehrssystemtechnik@dlr.de](mailto:verkehrssystemtechnik@dlr.de)

Internet: [www.dlr.de/ts](http://www.dlr.de/ts)