

# BUW OUTPUT

Forschungsmagazin *Research bulletin* der Bergischen Universität Wuppertal · Nr. 3/Sommersemester 2010



BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL



Das Active-Safety-Car aus Wuppertal / *Intelligent driver assistance systems*  
von / by Anton Kummert und Jörg Velten

Durchbruchunfälle auf Autobahnen / *Accidents with breakthrough of central barrier on German autobahns*  
von / by Jürgen Gerlach und Eva-Maria Flunkert

Vor massiven Veränderungen in Raum, Stadt und Verkehr / *Changing spatial, urban and transportation structures*  
von / by Felix Huber

Asphalte für höchste Beanspruchung und lange Nutzung / *Asphalts for extreme conditions and long life*  
von / by Hartmut Beckedahl

Nachhaltige Antriebsstrategien in der Automobilindustrie / *Sustainable drive strategies in the automotive industry*  
von / by Grit Walther

Zuverlässigkeit elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug / *Reliability of electronic systems in motor vehicles*  
von / by Arno Meyna

# Forschungsförderung / Kontakt

## Research Funding Management / Contact

### Europäische Forschungsförderung /

European Research Funding Management

Frank Jäger

Tel.-Nr.: 0202/439-2179

E-Mail: jaeger@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Nationale Forschungsförderung /

National Research Funding Management (Germany)

Ulrike Hartig / Frank Jäger

Tel.-Nr.: 0202/439-3806/-2179

E-Mail: hartig@verwaltung.uni-wuppertal.de /

jaeger@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Vertragsmanagement / Contract Management

Irina Berger

Tel.-Nr.: 0202/439-2866

E-Mail: berger@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Promotionsförderung / Support for Doctoral Students

Irina Berger / Frank Jäger

Tel.-Nr.: 0202/439-2866/-2179

E-Mail: berger@verwaltung.uni-wuppertal.de /

jaeger@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Drittmittelverwaltung, Grundsatzangelegenheiten / Administration of External Funding

Jürgen Werner

Tel.-Nr.: 0202/439-2315

E-Mail: werner@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Steuerangelegenheiten / Taxation

Bettina Springer

Tel.-Nr.: 0202/439-3545 / E-Mail: springer@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Fachbereiche A, F, Projekte der/des Gleichstellungsstelle, Rektorats, WTS, Verwaltung / Faculty A (Humanities), F (Art and Design);

Projects of the Equal Opportunities Office, Rector's Office, Administration

Silvia Wulf

Tel.-Nr.: 0202/439-3119 / E-Mail: wulf@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Fachbereiche B, E, G, SFB, Projekte des/der ZIM, ZSB, Institute / Faculty B (Economics), E (Electrical, Information and Media Engineering),

G (Educational and Social Sciences), SFB (Collaborative Research Centers); Projects of the ZIM (Information and Media Center), ZSB (Central Student Advisory and Counselling Service), UW Institutes

Cornelia Biniossek

Tel.-Nr.: 0202/439-3133 / E-Mail: biniossek@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Fachbereich C, internationale Projekte /

Faculty C (Mathematics and Natural Sciences), International Projects

N.N. in Vertretung: Frau Biniossek / Frau Prieur / Frau Springer

Tel.-Nr.: 0202/439-3133/-3710/-3545

E-Mail: biniossek@verwaltung.uni-wuppertal.de

bprieur@verwaltung.uni-wuppertal.de

springer@verwaltung.uni-wuppertal.de

### Fachbereich D / Faculty D (Architecture, Civil Engineering, Mechanical Engineering and Safety Engineering)

Bärbel Prieur

Tel.-Nr.: 0202/439-3710 / E-Mail: bprieur@verwaltung.uni-wuppertal.de

### ZEFFT: Interner Forschungsfördertopf

Um exzellente Forschung an der Bergischen Universität zu stärken und Forschungsaktivitäten gezielt zu unterstützen, hat das Rektorat im Sommer 2009 die Einrichtung einer internen Forschungsförderung in Gestalt eines Zentralen Forschungsfördertopfes (ZEFFT) beschlossen. Sowohl die Konzeption dieses Forschungsfördertopfes als auch die entsprechenden Vergaberegeln sind in Kooperation zwischen der Kommission für Forschung, Drittmittel und Graduiertenförderung und dem zuständigen Forschungs-Prorektor, Prof. Dr. Michael Scheffel, ausgearbeitet worden. Im Ergebnis wird für zunächst drei Jahre jährlich ein Betrag von 500.000 Euro zur Hilfe bei der Beantragung von Drittmittelprojekten zur Verfügung gestellt. Antragsmöglichkeiten gibt es in zwei Bereichen: Der Bereich *Strukturen* hat zum Ziel, die Einrichtung von Forschungsverbänden zu fördern; der Bereich *Projekte* unterstützt Forscherinnen und Forscher bei der Vorbereitung von Einzel-

anträgen. Telefonische Auskunft gibt es in der Abteilung Forschungsförderung und Drittmittelabwicklung der Hochschulverwaltung bei:

Irina Berger

Tel.: 0202/439-2866 / E-Mail: berger@verwaltung.uni-wuppertal.de

Frank Jäger

Tel.: 0202/439-2179 / E-Mail: jaeger@verwaltung.uni-wuppertal.de

Jürgen Werner

Tel.: 0202/439-2315 / E-Mail: werner@verwaltung.uni-wuppertal.de

[www.ff.uni-wuppertal.de](http://www.ff.uni-wuppertal.de)

Eine Liste unserer Forschungseinrichtungen finden Sie unter [www.uni-wuppertal.de/forschung/forschungseinrichtungen](http://www.uni-wuppertal.de/forschung/forschungseinrichtungen)

### IMPRESSUM

Herausgegeben  
im Auftrag des Rektorates  
vom Prorektor für  
Forschung, Drittmittel und  
Graduiertenförderung

Konzeption und Redaktion /  
Concept and production  
Michael Kroemer,  
Dr. Maren Wagner

Universitätspressestelle  
Telefon 0202/439-2221, 3047  
presse@uni-wuppertal.de  
[www.presse.uni-wuppertal.de](http://www.presse.uni-wuppertal.de)

Prof. Dr. Michael Scheffel  
Telefon 0202/439-2225  
prorektor2@uni-wuppertal.de  
Gaußstraße 20  
42119 Wuppertal

Gestaltung / Design  
Friederike von Heyden,  
Universitätspressestelle

Übersetzung / Translation  
Joseph Swann,  
Bergische Universität Wuppertal

Druck / Printers  
Figge GmbH, Wuppertal

Fotos / Photos  
Bergische Universität Wuppertal  
oder Quellennachweis  
University of Wuppertal  
or acknowledgement

Auflage / Print run  
3.000 Exemplare /  
3,000 copies

For the English version visit  
[www.buw-output.de](http://www.buw-output.de)

Alle Rechte vorbehalten.  
All rights reserved.

Wuppertal, Juni / June 2010

BUW OUTPUT

## INHALT / CONTENTS

02  
02

**Forschungsförderung / Kontakt / Research Funding Management / Contact  
Impressum / About this Publication**

04

**Editorial** von / by Michael Scheffel



06

Intelligente Fahrerassistenzsysteme in der Erprobungsphase  
**Das Active-Safety-Car aus Wuppertal**  
*Intelligent driver assistance systems*

von / by Anton Kummert und Jörg Velten



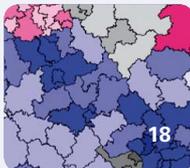
12

Leitplanken sind Mittelstreifen-Schutz

**Durchbruchunfälle auf Autobahnen**

*Accidents with breakthrough of central barrier on German autobahns*

von / by Jürgen Gerlach und Eva-Maria Flunkert



18

Die Bevölkerungsentwicklung und ihre Folgen

**Vor massiven Veränderungen in Raum, Stadt und Verkehr**

*Changing spatial, urban and transportation structures*

von / by Felix Huber



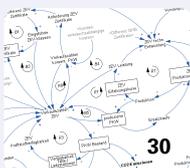
24

Durch Zugabe von Polymeren

**Asphalte für höchste Beanspruchungen und lange Nutzung**

*Asphalts for extreme conditions and long life*

von / by Hartmut Beckedahl



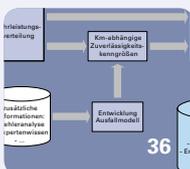
30

Käuferverhalten – Fahrzeugangebot – Technologie – Infrastruktur

**Nachhaltige Antriebsstrategien in der Automobilindustrie**

*Sustainable drive strategies in the automotive industry*

von / by Grit Walther



36

Sicherheit – Zuverlässigkeit – Komfort – Umweltschutz

**Zuverlässigkeit elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug**

*Reliability of electronic systems in motor vehicles*

von / by Arno Meyna

41

**Research News**

46

**Der W-Faktor** von / by Uwe Schneidewind

## Editorial



von / by

Prof. Dr. Michael Scheffel

Prorektor für Forschung, Drittmittel  
und Graduiertenförderung

**E**ine vor kurzem veröffentlichte Statistik des Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie belegt, dass die Bergische Universität im aktuellen Vergleichsjahr 2008 den stärksten Drittmittelzuwachs aller Universitäten in Nordrhein-Westfalen zu verzeichnen hat. Verbunden mit einem erfreulicherweise anhaltenden Aufschwung ist, dass die Forschungsaktivitäten an unserer Universität weiter an Dynamik und Vielfalt gewinnen. Nicht nur in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, sondern auch in den Wirtschafts-, Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften bewegt sich derzeit viel in Wuppertal.

Der vielgestaltigen Forschungslandschaft an der Bergischen Universität wollten die ersten beiden Hefte von BUW.OUTPUT entsprechen, indem sie ein möglichst breites Spektrum von Projekten präsentierten. Das vorliegende Heft weicht von der Idee eines Querschnitts ab und versammelt nunmehr Beiträge, die sich einem besonderen Themenfeld widmen. Auto, Mobilität und Verkehr stehen diesmal im Blickpunkt. Forscherinnen und Forscher verschiedener Disziplinen aus immerhin drei Fachbereichen unserer Universität gehen Fragen nach, die sich in der Gegenwart des Klimawandels und des Übergangs in eine postfossile Gesellschaft mit diesen längst nicht mehr rückhaltlos gefeierten Trägern eines sozialen und wirtschaftlichen Fortschritts verbinden.

Von einem Auto, das man irgendwo in der Stadt stehen lassen und das seinem Besitzer dann unfallfrei nachfahren kann, hatte der russische Kinderbuchautor Nikolai Nossow schon in den frühen 1960er Jahren geträumt. Was den Lebensalltag seiner Figuren Nimmerklug und Schraubschnell im Knirpsenland einst in höchst praktischer Weise erleichterte, ist auch ein halbes Jahrhundert später leider noch nicht möglich. Gleichwohl zeigt der

erste Beitrag unseres Heftes, dass es im Bereich der sogenannten intelligenten Fahrerassistenzsysteme zurzeit spannende Entwicklungen gibt. Nicht mehr Traum, sondern Wirklichkeit ist, dass man Kamera- und Kommunikationssysteme kombiniert, um Autos untereinander kommunizieren zu lassen und mittels tomographischer Methoden dreidimensionale Bilder von den Szenen des Verkehrs zu entwerfen. Aber auch das Fundament des Straßenverkehrs im buchstäblichen Sinn und weitere Maßnahmen, die die Sicherheit und das Funktionieren von mit Elektronik hochgerüsteten Fahrzeugen erhöhen, werden in diesem Heft reflektiert. Und nicht nur das. Zwei weitere Beiträge widmen sich dem Problem der Verkehrsplanung angesichts eines räumlichen Nebeneinanders von Wachstum und Schrumpfung sowie der Frage, wie sich im Spannungsfeld der unterschiedlichen Interessen von Gesetzgeber, Herstellern und Kunden die mit dem Betrieb von Kraftfahrzeugen verbundenen Emissionen durch neue Antriebstechnologien nachhaltig verringern lassen.

Neben Neuigkeiten aus der Welt der Forschung enthält das Heft schließlich ein Grußwort von Uwe Schneidewind, dem neuen Präsidenten des „Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie“ und zugleich Professor für Innovationsmanagement und Nachhaltigkeit an der Bergischen Universität. Seine Ausführungen zum „W-Faktor“ (Seite 46) sprechen für die Kooperation von Wuppertal Institut und Bergischer Universität und bezeugen einmal mehr: „Wuppertal ist ‚in Transition‘“.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern  
eine anregende Lektüre!

A recently published report of North Rhine-Westphalia's Ministry of Innovation, Science, Research and Technology indicates that the University of Wuppertal (UW) achieved the highest growth in external funding of all NRW universities in the latest reference year (2008). With this positive environment still continuing, UW research promises to reach new levels of dynamism and breadth. From the natural sciences through engineering and economics to the social and educational sciences and the humanities, Wuppertal is moving fast.

The first two issues of our research bulletin OUTPUT contained articles from a wide variety of disciplines, displaying the unique range of UW research. The present issue leaves this path and confines itself to a single topic: automotive mobility, transportation and roads. Researchers from three UW faculties and several different subject areas contribute to the topical discussion about the role of the automobile – that no longer unequivocally celebrated talisman of social and economic progress – in an impending post-fossil fuel society caught up in far-reaching processes of climatic change.

The Russian children's author Nikolai Nossow dreamed in the early 1960s of an automobile that could be parked in town and would follow its driver around without causing an accident. Fifty years later we are still some way from realizing this eminently practical arrangement, but the first article in the present issue of OUTPUT shows that intelligent driver assistance systems have made exciting progress, with integrated wireless, sensor and camera systems enabling the production of 3D tomographic images of traffic situations and

allowing vehicles to communicate with each other. Further contributions focus (literally) on the foundations of road traffic: the asphalt surfaces on which modern vehicles, equipped with electronic safety devices and aids of every sort, are already – or soon will be – making their way. Nor is that all. Two further articles focus on current and future problems of road traffic planning in an environment of simultaneous spatial reduction and growth, and on the impact on vehicle emissions – and the corresponding technological developments in drive systems – of the complex interface between government legislation and manufacturer and consumer interests.

Along with our Research News, this issue of OUTPUT contains a message from Uwe Schneidewind, the new President of the Wuppertal Institute for Climate, Energy and the Environment and holder of the Chair of Sustainable Transition Management at UW's Schumpeter School of Business and Economics. His remarks on the 'W-factor' highlight the close cooperation between University and Institute and express the underlying theme of this research bulletin: "Wuppertal is in transition".

Enjoy your reading!



PS: For the English version visit [www.buw-output.de](http://www.buw-output.de)

# Das Active-Safety-Car aus Wuppertal



von / by

Prof. Dr.-Ing. Anton Kummert und Dr.-Ing. Jörg Velten

kummert@uni-wuppertal.de

velten@uni-wuppertal.de



Abb. 1: Entwicklungs-Fahrzeuge der Bergischen Universität.

Fig. 1: UW's systems development vehicles.

Die Reduzierung der Zahl der Unfallopfer im Straßenverkehr ist eine zentrale Aufgabe für die Automobilindustrie und erklärtes Ziel der EU. Speziell die Sicherheit von Fußgängern steht hierbei im Fokus und soll durch den Einsatz intelligenter Fahrerassistenzsysteme signifikant verbessert werden. Der Einsatz von realzeitfähigen Kamera- und Sensorsystemen zur hochpräzisen Szenenerfassung (z. B. von Fußgängern, Hindernissen, etc.) bietet hierfür ein erhebliches Potenzial. Die Bergische Universität verfolgt im Rahmen des EU-Projektes „Active-Safety-Car“ neue Wege und erforscht im Verbund mit fünf weiteren Unternehmen der Region den Einsatz tomographischer Methoden zur 3-dimensionalen Szenenerfassung, um Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen. Hierbei spielen per Funk-Kommunikation mit anderen Fahrzeugen oder Infrastruktureinrichtungen ausgetauschte Sensordaten eine wesentliche Rolle.

**A** reduction in the number of road accidents is one of the central tasks of the automobile industry and a declared EU goal. A special focus here is on pedestrian safety, which can be significantly improved by the use of intelligent driver assistance systems. Real-time camera and sensor systems capable of monitoring traffic scenes (pedestrians, obstacles etc.) with great precision offer considerable potential in this respect. Within the framework of the EU 'Active-Safety Car' project, the University of

Wuppertal, in collaboration with 5 regional companies, is taking a new approach to the early recognition of danger situations in road traffic by exploring the application of 3D tomography in this field. Wireless exchange of sensor information with infrastructural centers, as well as between vehicles, plays a key role in this project. ◉

**A**ktive Komponenten im Automobil (Fahrerassistenzsysteme) erhöhen die Sicherheit im Straßenverkehr erheblich und sind Gegenstand intensiver Forschung im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik. Kamerabasierte Systeme bilden die Basis für innovative und zukunftsweisende Konzepte zur Unfallvermeidung und haben zum Teil bereits Einzug in Serienfahrzeuge gehalten. Die derzeit auf dem automobilen Markt verfügbaren Systeme realisieren einfache Funktionalitäten mit begrenzter Performance und Zuverlässigkeit. Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen, im Fachjargon Car-to-Car- bzw. Car-to-Infrastructure-Kommunikation genannt, wird als weiterer Ansatzpunkt zur Erhöhung der automobilen Sicherheit zwar in einschlägigen Fachzeitschriften thematisiert, erfordert jedoch für eine reale Umsetzung die Klärung vielfältiger technischer Fragestellungen, da es sich hierbei um ein Ad-hoc-Netzwerk handeln wird, das über keinerlei hierarchische Komponenten verfügen sollte, wie sie im Bereich Mobilfunk derzeit üblich sind.

Im Rahmen des von der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen geförderten Projekts Active-Safety-Car sollen Kamerasysteme und Kommunikation in innovativer Form kombiniert werden, um mittels tomographischer Methoden ein dreidimensionales Bild des Verkehrsszenarios abzuleiten, so dass aktive Sicherheitssysteme mit hoher Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit realisierbar werden. Studierende sind im Rahmen von Abschluss- und Projektarbeiten in die Forschungsaktivitäten eingebunden und haben hier die Möglichkeit, erworbenes Theoriewissen in die Praxis umzusetzen und industrienaher Fragestellungen zu bearbeiten.

Die Bergische Universität arbeitet eng mit einem Konsortium, bestehend aus Unternehmen der Region und der Volkswagen-Konzernforschung, zusammen, wodurch unterschiedliche Expertisen und auch die Kundensicht in das Projekt einfließen. Mittelfristiges Ziel ist die Entwicklung eines Demonstrators, der die Basis für spätere Serienprodukte bilden könnte, wobei dem Kostenaspekt und der Verbaugröße von Komponenten »

Abb. 2: Kamera hinter der Frontscheibe montiert.

Fig. 2: Windscreen-mounted camera.



Abb. 3: WLAN-Box auf dem Dachträger montiert.

Fig. 3: WLAN box on roof rack.



# Das Active-Safety-Car aus Wuppertal



Abb. 4: Verkehrsschilderkennung.

Fig. 4: Traffic sign recognition.



Abb. 5: Erkennung vorausfahrender Fahrzeuge.

Fig. 5: Recognition of vehicle in front.

» (Kerasensor und Rechner-Plattform) höchste Bedeutung zugewiesen werden muss. Damit verbieten sich Lösungen, wie sie beispielsweise von autonom agierenden und mit einer Vielzahl von Hochleistungssensoren ausgestatteten Wettbewerbsfahrzeugen (z.B. DARPA-Challenge) bekannt sind.

Die beiden Entwicklungs-Fahrzeuge (Abbildung 1) sind jeweils mit einer hinter der Frontscheibe montierten Schwarz/Weiß-Kamera ausgerüstet (Abbildung 2). Die Funk-Kommunikation wird mit einem Breitband-WLAN-System realisiert (Abbildung 3), das bei einem Serienprodukt in das Fahrzeug integriert würde. Die PC-basierte Rechnerplattform ist in einer Mulde des Kofferraumes montiert.

Kamerabasierten Fahrerassistenzsystemen wird in der Automotive-Branche hohes Potenzial zugemessen, da der Sensor selbst (die Kamera) sehr preiswert herstellbar ist und eine Vielzahl von Applikationen (mit dem gleichen Sensor) parallel realisierbar sind. Zu letzteren gehören typischerweise :

- Spurerkennung (Spurwechsel-/Spurhalteassistent),
- Verkehrsschilderkennung (Abbildung 4),
- Erkennung des vorausfahrenden Fahrzeuges und Distanzbestimmung (Abstandswarnung, Abbildung 5),
- Fußgängererkennung.

Von diesen Themenfeldern stellt die Erkennung von Fußgängern mit Abstand die größte wissenschaftliche Herausforderung dar, weil Personen in Größe, Bekleidungsart und bewegungsbedingter Form stark variieren.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist eine Kamera ein Sensor mit sehr hoher vertikaler und horizontaler Auflösung, während die Tiefeninformation vollständig fehlt. Man könnte einwenden, dass dieses Manko durch eine Stereokamera überwunden werden könnte. Allerdings ist die Tiefenbestimmung solcher Systeme sehr störanfällig (Erzeugung von Phantomobjekten) und nur für den extremen Nahbereich geeignet.

Im Rahmen des Projektes sollen völlig neue Wege beschritten werden. Die Generierung dreidimensionaler Informationen über das Verkehrsszenario und damit die Überwindung des Tiefenproblems wird mittels tomographischer Signalverarbeitungsmethoden erreicht. Tomographie ist ein bildgebendes Verfahren, das räumliche Strukturen von Objekten mittels „Beobachtung“ aus verschiedenen Aspektwinkeln ermittelt und das vor allem aus der Medizintechnik bekannt ist.

Im vorliegenden Fall werden mehrere Kamerabilder nach tomographischen Prinzipien so fusioniert, dass eine dreidimensionale Szeneninformation erzeugt werden kann. Dabei ist entscheidend, dass die zu verschmelzen-

den Einzelbilder die Szenerie aus unterschiedlichen Perspektiven zeigen, was auf verschiedenen Wegen erreicht werden kann. Von besonderem Interesse ist dabei das Bildmaterial fremder Fahrzeuge bzw. von fest installierten Kameras (z.B. an gefährlichen Kreuzungen), da dieses per Funk-Kommunikation verfügbar gemacht wird und einen deutlich andersartigen „Blick“ auf die Szenerie gewährt. Im Falle von Verdeckungen können sogar Informationen erhalten werden, die vom Eigenfahrzeug aus nicht gewonnen werden könnten (Abbildung 6).

Für die korrekte Fusion der aus unterschiedlichen Blickwinkeln erzeugten Einzelbilder ist eine möglichst genaue Kenntnis der Position und Orientierung des jeweiligen Aufnahmesensors (Kamera) in Bezug auf ein gemeinsames Koordinatensystem (Weltkoordinatensystem) von eminenter Bedeutung. Damit stellen Verfahren zur Positionsbestimmung ein wesentliches Arbeitspaket im Rahmen des Projektes dar, das insbesondere in der Wuppertaler Arbeitsgruppe um Prof. Albrecht Glasmachers bearbeitet wird. Die von GPS-Modulen gelieferte Genauigkeit ist für die hier diskutierten Tomographieverfahren in keiner Weise geeignet und kann lediglich für eine Grobpositionierung dienen.

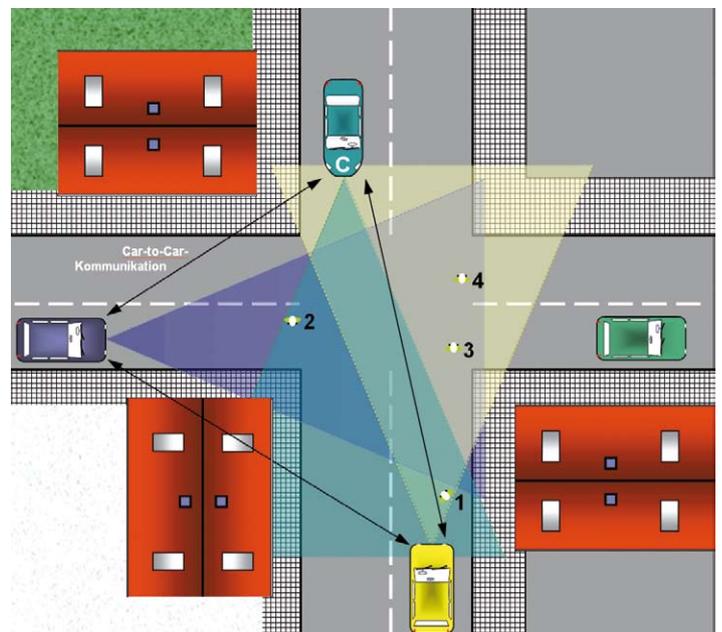
Im Rahmen des Projektes werden zwei sehr unterschiedliche Strategien zur Lösung des Positionierungsproblems verfolgt. Die erste Variante eignet sich ausschließlich für die Ermittlung der relativen Position mehrerer Fahrzeuge zueinander und damit nicht in Bezug auf ein globales Koordinatensystem. Allerdings wird hierfür kein separater Sensor benötigt, weil die entsprechenden Basisinformationen direkt aus den jeweiligen Kamerabildern abgeleitet werden. Die zweite Variante erfordert den Einsatz eines weiteren Sensors, der allerdings eine globale Positionsbestimmung innerhalb des

Weltkoordinatensystems ermöglicht. Es handelt sich um ein laser-basiertes System, das in digitalen Karten verzeichnete Landmarken, z.B. Verkehrsschilder, Signalanlagen, etc., als Referenz einbezieht.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Nutzung tomographischer Signalverarbeitungsmethoden bei kamera-basierten Fahrerassistenzsystemen ein höchst innovativer Schritt, um die dritte Dimension zu erschließen. Die Bergische Universität kann erhebliches Erfahrungspotenzial auf dem Sektor Tomographie vorweisen. Basierend auf früheren Arbeiten und Kooperationen im Bereich Medizintechnik konnten diese Methoden zunächst auf bildgebende Systeme der Sonartechnik (Unterwasserschalltechnik) erweitert werden und sollen nun bei »

Abb. 6: Prinzip der Car-2-Car-Kommunikation.

Fig. 6: Car-2-car communication principle.



# Das Active-Safety-Car aus Wuppertal

Abb. 7: Szene mit Fußgänger und quaderförmigem Hindernis.

Fig. 7: Pedestrian with block-like obstacle.



Abb. 8: Auswerteebene in das Kamerabild eingeblendet.

Fig. 8: Monitored area superimposed on photographic image.



» einem kamerabasierten Umfeld zum Einsatz kommen. Sehr wertvoll erweisen sich die aus diesen früheren Projekten gewonnenen Einsichten in die erzielbare Auflösung und die Auswirkungen eines eingeschränkten Aspektwinkelintervalls auf das Rekonstruktionsergebnis. Gerade der letzte Aspekt soll kurz beleuchtet werden, um die nachfolgend präsentierten Zwischenergebnisse korrekt interpretieren zu können.

Wie bereits erwähnt, basiert Tomographie auf der „Beobachtung“ eines Objektes aus unterschiedlichen Aspektwinkeln. Die erzielbare Bildqualität hängt u.a. vom dabei überstrichenen Aspektwinkelintervall und der Zahl der (möglichst homogen verteilten) Beobachtungsstützstellen (Zahl der Zwischenwinkel) innerhalb dieses Intervalls ab. Im Idealfalle betrüge das Aspektwinkelintervall  $180^\circ$ , und die Zahl der Stützstellen (Zahl der „Schnappschüsse“) wäre möglichst groß.

In der Medizintechnik sind diese Forderungen oftmals realisierbar, während bei anderen Applikationsfeldern, wie dem hier diskutierten, mit erheblichen Einschränkungen gerechnet werden muss. Ein eingeschränktes Aspektwinkelintervall (deutlich kleiner als  $180^\circ$ ) führt zu einer räumlich inhomogenen Auflösungscharakteristik, wie sie in den nachfolgend gezeigten experimentellen Ergebnissen deutlich zu erkennen ist. Die Zahl der Aspektstützstellen innerhalb des Aspektintervalls beeinflusst dagegen die pro Volumeneinheit separierbaren Objektpunkte.

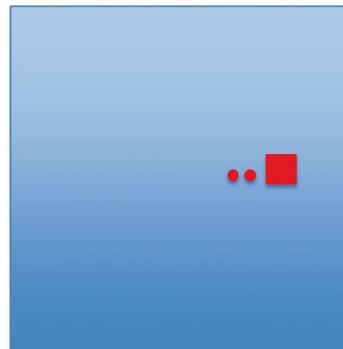


Abb. 9: Ideales Auswertergebnis (Draufsicht auf die Auswerteebene).

Fig. 9: Ideal monitor result (plan).

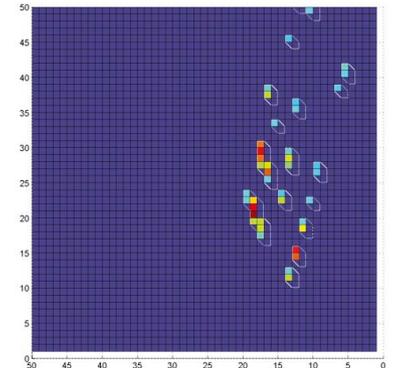


Abb. 10: Reales Auswertergebnis (Draufsicht auf die Auswerteebene).

Fig. 10: Actual monitor result (plan).



Abb. 11: In das Bild rückprojizierte Voxelbeiträge (falls über einem Schwellwert liegend). Die Farbe codiert nicht die Intensität, sondern den Tiefenwert. Die Berandung des Voxelquaders ist zur Orientierung eingeblendet.

Fig. 11: Voxel data superimposed on photographic image. Color code refers to depth, not intensity. Voxel edges are shown here for orientation purposes.

Um diese abstrakt wirkenden Zusammenhänge zu veranschaulichen, stelle man sich den zu analysierenden Raumbereich in würfelförmige Volumenelemente zerlegt vor. Diese werden auch als Voxel bezeichnet und bilden das Pendant zum Pixel bei einer quadratischen Zerlegung eines Bildes (zweidimensionales Objekt). Ähnlich wie bei den Pixeln eines Bildes wird hier nun jedem Voxel ein „Bildwert“ (Intensität/Farbe) zugeordnet.

In ersten Versuchen wurde als Voxelgröße 20 cm x 20 cm x 20 cm gewählt, womit die erzielbare räumliche Auflösung deutlich grober als die durch die Pixelauflösung der Kamera erzielbare horizontale und vertikale Auflösung ist. Eine feinere Unterteilung würde jedoch den Rechenaufwand ins Unrealistische steigern und wäre auch der Zahl der verfügbaren Aspektwinkel nicht angemessen. Durch die bereits erwähnte Einschränkung des Aspektwinkelintervalls auf wenige Grad erscheinen nun punktförmige Objekte in der Tiefe auseinandergezogen, während in horizontaler und vertikaler Richtung eine relativ gute Auflösung erhalten bleibt. Dieser theoretisch vorhersagbare Effekt wird auch in Experimenten bestätigt. Man betrachte zunächst die in Abbildung 7 dargestellte Szene. Der relevante Auswertebereich vor dem Fahrzeug wurde virtuell in Voxel zerlegt, wobei der ausgewertete Gesamtquader den Fußgänger und das quaderförmige Hindernis beinhaltet. Da eine direkte Visualisierung eines dreidimensionalen Voxel-Quaders problembehaftet ist, werden horizontale Schnitte (Ebenen parallel zum Boden) visualisiert.

Abbildung 8 zeigt eine Auswertebene in das eigentliche Kamerabild eingeblendet. Das sich ideal ergebende Bild der Auswertebene (Vogelperspektive) ist in Abbildung 9 dargestellt. Abbildung 10 zeigt die durch Tomographie erzeugte Rekonstruktion. Die Intensitätswerte

sind in Fehlfarbandarstellung (blau = 0, rot = sehr groß) codiert. Obwohl natürlich die ideale Form der „Objekte“ nicht erkennbar ist, können trotzdem wertvolle Rückschlüsse gezogen werden:

- Im linken Teil werden korrekterweise keine Objekte angezeigt.
- Die Begrenzung der „erkannten“ Objekte im rechten Teil ist in Querrichtung (x-Richtung) relativ gut und stimmt demnach mit den theoretisch vorhergesagten Eigenschaften überein.
- Die „Ausdehnung“ der Objekte in Tiefenrichtung ist lang gezogen, was durch das eingeschränkte Aspektwinkelintervall verursacht wird. Nichtsdestoweniger ergeben sich für die Applikation ausreichende Tiefenauflösungswerte, da ja nur eine Groblokalisierung in z-Richtung benötigt wird.

Um nun zu erkennen, welche Regionen eines Bildes zu signifikanten Voxelbeiträgen führen, wurden letztere (falls über einem Schwellwert liegend) in das Bild zurückprojiziert (Abbildung 11). Die Farbe codiert hier nicht die Intensität, sondern den Tiefenwert (rot = nah, grün = fern). Offenkundig führen die „Kanten“ der Objekte zu den gewünschten Voxelbeiträgen, was ebenfalls mit theoretischen Ergebnissen bezüglich Gesetzmäßigkeiten der Tomographie übereinstimmt.

Die vorgestellten Konzepte sind beispielhaft für Aktivitäten der Bergischen Universität auf dem Automotive-Sektor. Besonderes Gewicht wurde auf die Aspekte Car-to-Car-Kommunikation und Tomographie gelegt, da diese aus wissenschaftlicher Sicht ein hohes Maß an Innovation in das Projekt Active-Safety-Car einbringen und in neuartiger Form aufs Engste verzahnt werden. ☉

# Durchbruchunfälle auf Autobahnen



von / by

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gerlach  
Dr.-Ing. Eva-Maria Flunkert

jgerlach@uni-wuppertal.de  
eva-maria.flunkert@gmx.de

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden 240 Unfälle erfasst, bei denen die Schutzeinrichtung im Mittelstreifen durchbrochen wurde. Es handelt sich um relativ seltene, flächenhaft verteilte Ereignisse. Es hat sich gezeigt, dass nur bei 17,5% der Durchbruchunfälle ein Zusammenhang mit der Streckencharakteristik ableitbar ist. Da mit dem Anprall an steifere Schutzeinrichtungen eine erhöhte Verletzungsgefahr der Fahrzeuginsassen einhergeht, ist ein flächendeckender Einsatz dieser Systeme nicht zielführend. Der Einsatz sollte in Streckenabschnitten in Erwägung gezogen werden, in denen besondere Charakteristika vorliegen. Weiterhin sollten auch andere Maßnahmen (z. B. die Anlage von Rüttelstreifen) in Betracht gezogen werden, um Abkommensunfälle sowie Durchbrüche zu verhindern.



Abb. 1: Betonschutzwand mit Step-Profil.

Fig. 1: Concrete protection barrier with 'Step' profile.



Abb. 2: Zweifache 'Super rail' Stahl Schutzplanke.

Fig. 2: Double 'Super rail' steel protection plank.

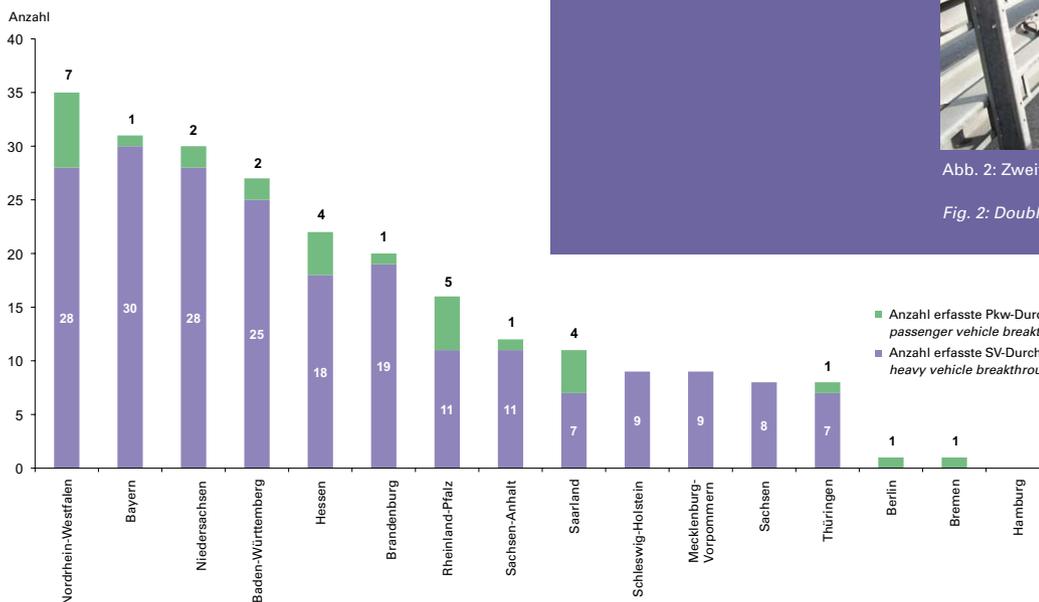


Abb. 3: Erfasste Pkw- und Schwerverkehr-Durchbrüche (n=240 erfasste Durchbruchunfälle).

Fig. 3: Passenger car and heavy vehicle barrier breakthroughs by federal state (n = 240 monitored events).

**A** research project monitoring 240 accidents involving breakthrough of central barriers on the German autobahn network – a relatively rare and evenly distributed occurrence – showed that in only 17.5% of cases could a correlation with local route characteristics be deduced. As rigid barriers with high containment capability increase the risk of injury for vehicle occupants, general use of such barriers cannot be recommended; they should be restricted to route segments with special char-

acteristics. Other measures such as the construction of rumble strips should also be taken into account for the prevention of run-off or breakthrough accidents. ☉

**D**as Fachzentrum Verkehr der Bergischen Universität (Abteilung Bauingenieurwesen, Fachbereich Architektur – Bauingenieurwesen – Maschinenbau – Sicherheitstechnik) bearbeitet Forschungsvorhaben, deren Erkenntnisse in neue Regelwerke im Verkehrswesen einfließen. In diesem Fall geht es um die Frage, ob ein Einsatz von Betonschutzwänden oder steiferen Stahlschutzplanken im Mittelstreifen von Bundesautobahnen vor dem Hintergrund der Vermeidung von Durchbruchunfällen zu empfehlen ist. Die Forschungsarbeit basiert auf der Analyse von Unfällen der Jahre 2004 bis 2006 und wurde im Jahr 2009 abgeschlossen.

Bundesweit ereignen sich jährlich rund 17.000 Unfälle mit Personenschaden und schwerem Sachschaden mit Schutzplankenkontakten im Seitenraum sowie im Mittelstreifen von Autobahnen. Bei wie vielen dieser Unfälle es zu einem Durchbrechen der Schutzeinrichtung im Mittelstreifen gekommen ist, war bislang unbekannt. Ein wesentliches Ziel der Untersuchung war es, Informationen über die Anzahl, die Charakteristik und die Folgen von Unfällen zu gewinnen, bei denen es zu einem Durchbrechen der Schutzeinrichtung im Mittelstreifen gekommen ist.

In Kenntnis der Relevanz von Durchbruchunfällen auf Autobahnen, der charakteristischen Rahmenbedingungen und der potenziellen Wirkungen von Betonschutzwänden (BSW) und steiferen Stahlschutzplanken (SSSP) galt es, Einsatzmöglichkeiten von Schutzeinrichtungen mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen (Aufhaltestufen H4a und H4b, wobei derzeit in Deutschland nur H4b-Systeme geprüft sind und zum Einsatz kommen) soweit möglich abzuleiten und zu diskutieren.

Erkenntnisse aus Anprallversuchen zeigen, dass Pkw im Falle eines Anpralls an BSW unter einem Winkel von

bis zu 20° vorwiegend parallel zur Schutzwand abgelenkt werden. Der profilierte Fußbereich lässt das Fahrzeug auffahren, so dass es zu einem Anheben des Fahrzeugs kommt und damit ein Teil der Anprallenergie umgewandelt wird. Übliche und geprüfte Querschnittsprofile sind das New-Jersey-Profil aus den USA und das Step-Profil aus den Niederlanden (Abbildung 1). Bei SSSP befinden sich hinter den Holmen zusätzliche Deformationselemente in Form eines Rohrs bei dem Produkt Super Rail (Abbildung 2) oder einer Wabe bei dem Produkt Maxi Rail. Bei einem Anprall wird die Energie des Fahrzeugs durch Verformung der Deformationselemente und der Stahlschutzplanke absorbiert.

Es konnte im Rahmen der Untersuchung gezeigt werden, dass Unfälle, bei denen die Schutzeinrichtung im Mittelstreifen durchbrochen wurde, ein relativ seltenes Ereignis darstellen. Im Ergebnis konnten in den drei betrachteten Jahren im Rahmen einer Vollerhebung von Lkw- und einer Teilerhebung von Pkw-Unfällen 240 Durchbruchunfälle erfasst werden (Abbildung 3). Nach Abschätzung der zusätzlichen Pkw-Durchbruchunfälle haben sich in den Jahren 2004 bis 2006 insgesamt etwa 263 Durchbruchunfälle ereignet, was einem Durchschnitt von etwa 88 Durchbruchunfällen pro Jahr entspricht. Somit handelt es sich bei etwa 0,5% aller jährlich rund 17.000 Autobahn-Unfälle mit Personenschaden und schwerem Sachschaden mit Schutzeinrichtungskontakt (beidseits der Richtungsfahrbahn) um Durchbruchunfälle. Während im Mittel etwa ein Durchbruch der Mittelschutzeinrichtung pro 300 Kilometer Richtungsfahrbahn im Jahr zu verzeichnen ist, treten Unfälle mit Personenschaden und schwerwiegendem Sachschaden mit Schutzplankenkontakt alle rund 1,5 Kilometer auf. »

# Durchbruchunfälle auf Autobahnen

Abb. 5: Art der Verkehrsbeteiligung (n = 263 abgeschätzte Durchbruchunfälle).

Fig. 5: Vehicle type involved in accident (n = 263 estimated events).

» Weder eine hohe Verkehrsbelastung noch ein hoher Schwerverkehrsanteil haben einen nachweisbaren Einfluss auf das Durchbruchrisiko. Stattdessen besteht ein Zusammenhang zwischen der Streckennetzlänge und der Anzahl der Durchbrüche, so dass diese vielmehr als flächenhaft verteilte Ereignisse interpretiert werden können. Aus der Analyse gingen einige typische Unfall-szenarien (Abbildung 4) hervor. Dies sind:

- Durchbruchunfälle, bei denen das Fahrzeug nach links von der Fahrbahn abgekommen ist und dies entweder im Zusammenhang mit der Topographie, technischen Schäden am Fahrzeug oder körperlichen Mängeln des Fahrers geschehen ist.
- Unfälle, bei denen das überwiegend allein beteiligte Fahrzeug zunächst nach rechts abgekommen ist (oftmals in Folge körperlichen Mangels) und im Anschluss unter einem verhältnismäßig großen Winkel die Schutzeinrichtung durchbrochen hat.
- Durchbrüche, denen eine Kollision durch Auffahren auf vorausfahrende Fahrzeuge oder ein seitlicher Zusammenstoß vorausgegangen sind.

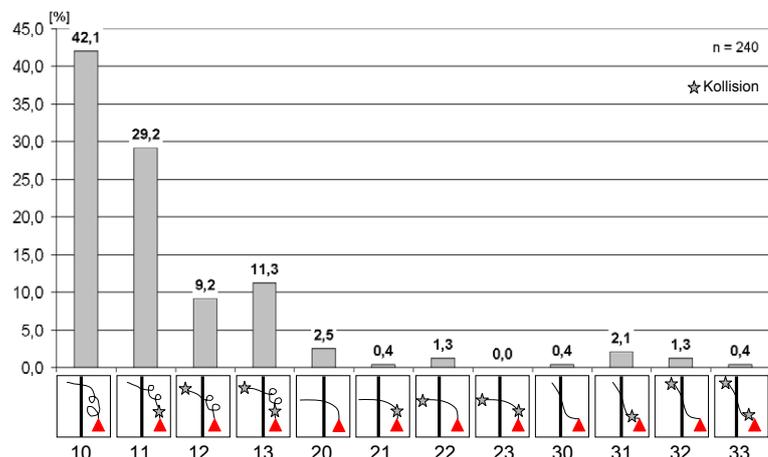
Überwiegend hat es sich um Alleinunfälle gehandelt. Fanden Kollisionen mit anderen Fahrzeugen statt, so ereigneten sich diese zumeist bereits auf der Richtungsfahrbahn, gefolgt von Kollisionen auf der Gegenfahrbahn oder sowohl auf der Richtungs- als auch auf der Gegenfahrbahn. Die meisten Unfälle (101) ereigneten sich ohne Kollision und in Folge eines Schleudervorgangs (Ablauf 10). Insgesamt ist 220 Durchbrüchen (entspricht 91,7%) ein Schleudervorgang vorausgegangen. Bei zehn Unfällen ist das Fahrzeug unter einem großen Winkel (Abläufe 20 bis 23) gegen die Schutz-einrichtung geprallt, bei zehn Unfällen unter einem kleinen Winkel (Abläufe 30 bis 33).

Viele Durchbrüche (31 Unfälle) haben sich in Folge plötzlichen körperlichen Unvermögens ereignet. Hierzu zählen Unfälle, bei denen ein Fahrzeugführer eingeschlafen ist, einen Schwächeanfall erlitten hat oder ansonsten plötzlich körperlich beeinträchtigt war und dadurch den Unfall verursacht hat. Auffallend ist in diesem Zusammenhang die große Anzahl der Unfälle in Folge Einschlafens (insgesamt 25 Mal Ursache eines Durchbruchs). Auffallend ist ebenso, dass sich viele Durchbrüche (insgesamt 22 Mal Ursache eines Durchbruchs) ereignet haben, denen ein plötzlicher Schaden am Fahrzeug vorausgegangen ist (z. B. ein geplatzter Reifen).

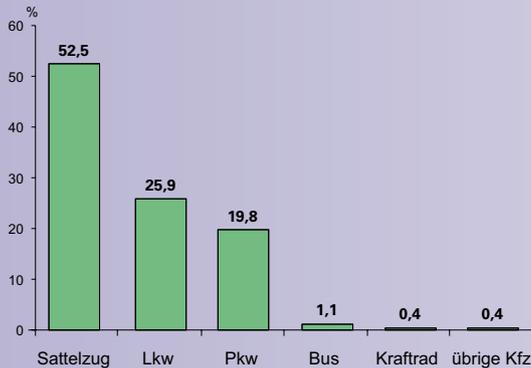
Bei der Betrachtung der fahrzeugbezogenen Parameter fällt auf, dass es sich vornehmlich um Schwerverkehrsfahrzeuge gehandelt hat, die durch die Schutz-einrichtung in Mittellage gebrochen sind (Abbildungen 5 bis 7). Verglichen mit dem Gesamtunfallgeschehen auf Autobahnen zeigte sich, dass sich überdurchschnittlich viele Durchbrüche in Abschnitten mit ausgeprägtem

Abb. 4: Ablaufschemata der Durchbruchunfälle (n = 240 erfasste Durchbruchunfälle).

Fig. 4: Schematic development of accident (n = 240 monitored events).



## { Accidents with breakthrough of central barrier on German autobahns }



Gefälle oder einer deutlichen Steigung ereigneten – insbesondere auch dann, wenn das Gefälle in einer Kurve lag sowie auf dreistreifigen Hauptfahrbahnen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden auffällig viele Durchbrüche insbesondere bei:

- zu kurzen Ein- und Ausfahrten sowie,
- Ein- und Ausfahrten in Kombination mit noch einer weiteren „besonderen“ Streckencharakteristik (Gefälle, Steigung, Kurve) beobachtet.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass Durchbruchunfälle überraschender Weise nur zu einem geringen Teil unmittelbar durch die Streckencharakteristik beeinflusst werden. Bundesweit konnte ein solcher Zusammenhang nur in rund 17,5% der Durchbruchunfälle festgestellt werden. In Tabelle 1 sind die Unfallkategorien der 240 Durchbruchunfälle, die im Zeitraum von 2004 bis 2006 stattgefunden haben, dargestellt.

Es handelt es sich überwiegend um Unfälle mit Leichtverletzten, gefolgt von schwerwiegenden Unfällen mit Sachschaden und Unfällen mit Schwerverletzten. Bei rund 11% der Durchbruchunfälle wurden Menschen getötet. Rund ein Viertel der betrachteten Durchbruchunfälle hatte keinen Personenschaden, sondern lediglich (schweren) Sachschaden zur Folge. Die Vermutung, dass es sich bei Durchbruchunfällen generell um Unfälle besonderer Schwere handelt, ist demzufolge nicht bestätigt worden. Dennoch fordert ein Durchbruchunfall im Mittel acht bis neun Mal mehr Getötete als ein durchschnittlicher Unfall mit Personenschaden oder schwerwiegendem Sachschaden auf Bundesautobahnen. Bei einem Durchbruchunfall mit schwerem Personenschaden werden immerhin noch 3,5 Mal so viele Personen getötet wie bei einem typischen Unfall mit schwerem Personenschaden auf BAB.



Abb. 6: Beispiel eines Durchbruchunfalls mit Gefahrgut.  
Quelle: Polizei Baden-Württemberg

Fig. 6: Example of breakthrough accident with vehicle carrying hazardous load.  
Source: Baden-Württemberg police



Abb. 7: Beispiel eines Durchbruchunfalls mit Kollision auf der Gegenfahrbahn.  
Quelle: Polizei Baden-Württemberg

Abb. 7: Beispiel eines Durchbruchunfalls mit Kollision auf der Gegenfahrbahn.  
Source: Baden-Württemberg police

# Durchbruchunfälle auf Autobahnen

Unfallkategorie <i>Accident type</i>	Anzahl / Anteil der Durchbruchunfälle <i>No. / %</i>
1. Unfall mit Getöteten <i>1. Accident with fatalities</i>	26 / 10,8 %
2. Unfall mit Schwerverletzten <i>2. Accident with serious injuries</i>	62 / 25,8 %
3. Unfall mit nur Leichtverletzten <i>3. Accident with light injuries</i>	88 / 36,7 %
4. schwerwiegender Unfall mit Sachschaden im engeren Sinne (Kriterium Fahrbereitschaft) <i>4. Accident with serious damage to property</i>	64 / 26,7 %

Tabelle 1: Unfallkategorien der Durchbruchunfälle (n=240 erfasste Durchbruchunfälle).

Table 1: Accidents by category (n = 240 monitored events)

» Neben der Ermittlung der Häufigkeit von Durchbrüchen sowie den Erkenntnissen aus der Analyse der Durchbruchunfälle bestand ein weiteres Ziel in der Ableitung von Einsatzmöglichkeiten für Schutzeinrichtungen mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen (Aufhaltstufe H4b). Da mit zunehmendem Aufhaltevermögen der Rückhaltesysteme auch eine steigende Belastung der Fahrzeuginsassen von Pkw und Transportern beim Anprall einhergehen kann, erscheint ein grundsätzlicher, flächendeckender Einsatz von Schutzeinrichtungen mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen nicht zielführend. Stattdessen sollte sich dieser auf Streckenabschnitte konzentrieren, bei denen es vermehrt zu Abkommensunfällen des Schwerverkehrs gekommen ist und bei denen die im Rahmen dieser Untersuchung als auffällig identifizierten, besonderen Charakteristika vorliegen.

Die Auswahl von Schutzeinrichtungen erfolgt anhand mehrerer Kriterien, die beispielsweise auch den Raumbedarf und die Reparaturanfälligkeit betreffen und die bei der Ermittlung der hier genannten Einsatzkriterien nicht berücksichtigt wurden. So wären bei einem grundlegenden Vergleich der Schutzeinrichtungen unter anderem auch die Reparaturanfälligkeit der verschiedenen Schutzeinrichtungen sowie der Zeitbedarf im Reparaturfall und etwaige, staubedingte Unfälle in und vor Baustellen zu berücksichtigen.

Aufgrund der mit dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse empfiehlt es sich jedoch auch, andere Maßnahmenarten in Erwägung zu ziehen, die dem Durchbruch vorausgehende Unfallursachen verhindert. Hierfür seien als Beispiele der vermehrte Einsatz von Rüttelstreifen oder die Verbesserung der Lkw-Parksituation auf den BAB genannt, wodurch ein Einschlafen des Fahrzeugführers vermieden werden könnte. Eine weitere

Maßnahme wäre z. B. die Ausweitung der fahrzeugtechnischen Kontrollen, um somit das Risiko eines Durchbruchs infolge technischen Mangels zu vermindern.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das tatsächliche Unfallgeschehen analysiert. Nicht streckenbezogene Einflussfaktoren, die das Unfallgeschehen und damit das Durchbruchrisiko eventuell beeinflussen, wurden nicht betrachtet. So wurde beispielsweise nicht berücksichtigt, welchen psychologischen Einfluss BSW und SSSP auf den Fahrzeugführer und damit auf dessen Fahrverhalten haben. Ebenso wurden ausschließlich Unfälle der Kategorien 1 bis 4, also mit Personenschäden oder schwerwiegenden Sachschäden, betrachtet. Um ggf. weitere Faktoren zu ermitteln, die das Unfallgeschehen beeinflussen, wäre eine Betrachtung des gesamten Unfallgeschehens sowie des Fahrverhaltens sinnvoll.

Um die Auswirkungen von Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen beim Anprall präziser abschätzen und hieraus eine Gegenüberstellung zwischen BSW und SSSP auf der einen und EDSP und DDSP auf der anderen Seite ableiten zu können, wäre ein direkter Vergleich des Unfallgeschehens sinnvoll, der einen Einfluss verfälschender Faktoren ausschließt. Dieser könnte beispielsweise durch einen Vorher-Nachher-Vergleich mit identischen Rahmenbedingungen erfolgen, indem das Unfallgeschehen in Streckenabschnitten mit herkömmlichen Systemen in einem möglichst langen Zeitrahmen betrachtet würde, bevor in diesem Abschnitt BSW oder SSSP installiert werden. Wenn für gleich lange Zeiträume jeweils das Unfallgeschehen vor und nach Errichtung der Schutzeinrichtung mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen analysiert wird, kann eine direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse erfolgen. ☉



**Bergisches Städtedreieck**  
Remscheid – Solingen – Wuppertal

# 200.000€ EINSTIEGSGEHALT, DIENSTWAGEN, PERSÖNLICHES SEKRETARIAT.

Das alles gibt es bei uns natürlich nicht, aber dafür gute Kontakte zu mittelständischen Marktführern im Bergischen Städtedreieck. Denn der größte Erfolgsfaktor im Berufsleben sind Netzwerke.

Starten Sie das Netzwerken – besuchen Sie unseren Stand auf den abendl. Firmenkontaktnessern in Bochum und Aachen. Näheres unter [www.bonding.de](http://www.bonding.de).

**Bergische Entwicklungsagentur GmbH**  
Kölner Strasse 3  
42661 Solingen

Tel. 0212 / 33 16 06 60  
Fax. 0212 / 33 16 06 66  
[www.bergische-agentur.de](http://www.bergische-agentur.de)  
[Info@bergische-agentur.de](mailto:Info@bergische-agentur.de)



**ENTWICKLUNGSLAND**  
Bergisches Städtedreieck  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



# Vor massiven Veränderungen in Raum, Stadt und Verkehr



von / by

Prof. Dr.-Ing. Felix Huber

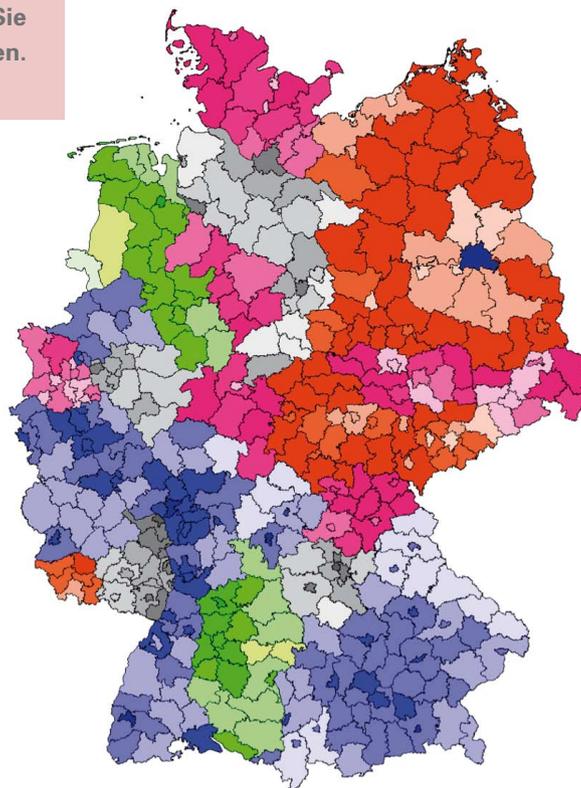
huber@uni-wuppertal.de

Demografischer Wandel, Klimawandel, Peak Oil und Globalisierung führen zu umfassenden Veränderungen der Raum- und Verkehrsstrukturen. Das Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen (LUIS) befasst sich mit diesen Übergangsprozessen auf allen Ebenen der räumlichen Planung. Basis aller Arbeiten ist das Verständnis von Raum- und Umweltstrukturen und der zeitlich-/räumlichen Veränderungsprozesse. Eine „attraktive“ postfossile Gesellschaft ist keine automatische Folge dieses Strukturübergangs. Es geht darum, den Übergang zu gestalten. Die Gesellschaft hat massiven Handlungsbedarf bezüglich der raum- und verkehrsstrukturellen Anpassungsprozesse. Sie benötigt Strategien gesellschaftlich akzeptierter Entwicklungen. Dieser Aufgabe ist das LUIS verpflichtet.

Abb. 1: Entwicklung der Bevölkerungsdichte und der Alterung im Zeitraum zwischen 2006 und 2020 – für die Verkehrsplanung relevante demografisch-strukturelle Potentiale (Huber, Brosch, Reinbold unter Nutzung von INKAR-Daten und siedlungsstruktureller Daten der BBR, 2008).

Fig. 1: Development of population and aging in Germany 2006-2020: key factors for transportation planning.

		Altersanteil				
		sehr gering	gering	ausgeglichen	hoch	sehr hoch
Dichte/ Entwicklung	sehr hoch					
	hoch					
	stagnierend					
	gering					
	sehr gering					



**D**emographic change, climate change, peak oil, and globalization are paving the way for comprehensive change in spatial and transportation structures. UW's Department of Environmental, Infrastructure and Urban Development (LUIS) focuses on these transitional processes at every level. Fundamental to our research and teaching projects is an understanding of spatial and environmental structures and their development through time. It cannot be taken for granted that an attractive post-fossil

society will automatically arise as a result of these processes of change. Transition must be shaped and guided, and in this respect society has a massive backlog of work to do if it is to find the socially acceptable development strategies that it needs. LUIS is committed to this task. ◉

**D**ie breite Diskussion über die Folgen der demografischen Entwicklung für die Finanzierbarkeit der Renten und des Gesundheitswesens hat zu einer Hellhörigkeit der Bevölkerung geführt. Klimawandel und das Überschreiten des Zeitpunkts der maximalen Ölförderung zeigen das Ende der Versorgung mit billiger fossiler Energie an, auf die sich seit gut 150 Jahren der wirtschaftliche Fortschritt der Industrialisierung stützt. Die weltumgreifende Vernetzung der ökonomischen Strukturen und der Produktionsprozesse haben besondere Wettbewerbsbedingungen zur Folge.

Die Gesellschaft spürt, dass massive Strukturveränderungen unaufhaltsam auf sie zurollen, deren Wirkungen sie sich wird stellen müssen. Noch fehlt das Bewusstsein, dass diese alle Teile des gesellschaftlichen Lebens erfassen werden und mit ihnen massive Veränderungen in den Raum-, Stadt- und Verkehrsstrukturen verbunden sind.

Das Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen (LUIS) befasst sich in Forschung und Lehre mit diesen Übergangsprozessen im Aufgabenfeld zwischen Stadt-, Verkehrs- und Umweltplanung auf allen Ebenen der räumlichen Planung.

Für den Bundesminister für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung werden von LUIS Verfahren zur Einbeziehung der Städtebaulichen Effekte in die Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) entwickelt. Hier geht es vor allem um die Identifikation der Städte, die vorrangig eine Entlastung etwa in Form einer Ortsumgehung benötigen. Diese Verfahren haben in den Bundesverkehrsplanungen 1993 und 2003 Anwendung gefunden und werden derzeit für den nächsten BVWP 2013 weiterentwickelt.

Für das Verkehrsministerium des Landes Nordrhein-Westfalen hat LUIS ein Verfahren zur Aufteilung der Regionalisierungsmittel für den Öffentlichen Nahverkehr

entwickelt, das sich an den Raum- und Siedlungsstrukturen orientiert. Unter dem Stichwort „Robuste Modelle“ werden Verfahren für die Bewertung der Realisierungswürdigkeit großräumig bedeutsamer Verkehrsinfrastrukturprojekte in Nordrhein-Westfalen erarbeitet.

Auf kommunaler Ebene berät LUIS Großstädte wie etwa Duisburg bei der Erarbeitung zukunftsweisender Verkehrskonzepte oder die Kölner Verkehrsbetriebe bei der Abschätzung der Bevölkerungsentwicklung bis 2050 im Hinblick auf die Ausgestaltung zukunftsfähiger Infrastruktur- und Mobilitätsangebote im Öffentlichen Nahverkehr.

Daneben engagiert sich LUIS im Welt-Straßenverband (PIARC) im Arbeitsausschuss „Schutz der Umwelt“, im Hauptvorstand der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft und in zahlreichen Arbeitsausschüssen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, so in der Leitung des Querschnittsausschusses „Neue Mobilitätsangebote und Verkehrsinfrastrukturen der postfossilen Gesellschaft“.

Basis aller Arbeiten ist das Verständnis von Raum-, Stadt- und Umweltstrukturen und der zeitlich/räumlichen Veränderungsprozesse. Bei der Analyse der Strukturen kommen Geoinformationssysteme zum Einsatz, die durch ihre gute Darstellungsfähigkeit gleichzeitig auch helfen, politischen Entscheidungsträgern und Planungsbetroffenen strukturelle Transitionsprozesse anschaulich zu erläutern, um den Blick auf die wahren Ursachen von Veränderungen zu lenken.

So fallen die Wahrnehmung der Bevölkerungsentwicklung und der Grad der Betroffenheit regional sehr unterschiedlich aus. Räumen mit Schrumpfung und Alterung in Ostdeutschland und den altindustriellen Verdichtungsräumen Westdeutschlands ste- »

# Vor massiven Veränderungen in Raum, Stadt und Verkehr

Abb. 3: Siedlungsstrukturen und Bedienungshäufigkeiten von ÖV-Haltestellen in NRW (Huber, Brosch, Reinbold, 2008).

Fig. 3: Residential structures and frequency of public transport use.

»hen Wachstumsregionen in Süddeutschland und an Wirtschaftsschwerpunkten entlang des Rheins und in Küstennähe gegenüber. Die schlechte Wirtschaftsentwicklung der letzten Jahre erschwert eine eindeutige Ursachenzuordnung. Sind Leerstände, Verwahrlosung und Abbruch eine Folge fehlender Nachfrage aufgrund von Wirtschaftsschwäche oder von fehlender Bevölkerung?

Die Wirtschaftsentwicklung kann sich erholen, Bevölkerungsrückgang und Alterung laufen dagegen zwangsläufig ab. Das Schrumpfungsphänomen wird bald in weiten Teilen der Republik unübersehbar sein. Dies betrifft insbesondere Räume ohne wirtschaftliche und soziale Perspektiven. Prägend wird das Nebeneinander von Wachstum und Schrumpfung. Die Dramatik der Entwicklung liegt in der sich verschärfenden Dynamik der Diskrepanz. Wir haben noch etwas Zeit, uns mit

den Wirkungen der Bevölkerungsentwicklung vertraut zu machen und qualifizierte Planungsinstrumente zu entwickeln, da die Mengeneffekte der Prozesse erst ab 2020 massiv spürbar werden. Aber wir sollten diese Zeit nutzen, eher heute als morgen!

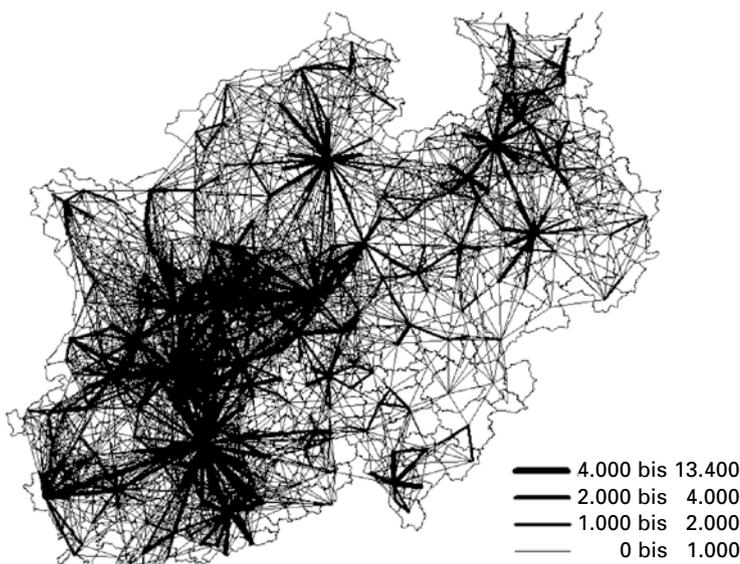
Für die Gestaltung der künftigen Verkehrsangebote sind die quantitative Entwicklung, die Alterszusammensetzung und die räumliche Verteilung der Bevölkerung von Bedeutung. Neben der finanziellen Ausstattung sollten die politischen Zielvorstellungen den Rahmen bilden. Eine alternde Gesellschaft stellt veränderte Anforderungen an die Angebotsgestaltung im Verkehr. Wir müssen die Kapazitäten im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) für Kinder und Jugendliche als Folge des Geburtenrückgangs verringern. Mit dem Rückgang der Zahl der Erwerbstätigen nimmt die Bedeutung der Berufspendler ab. Die Gruppe der Senioren rückt ins Zentrum der Betrachtung.

Die Lebensphase nach der Verrentung/Pensionierung der wachsenden Gruppe der Senioren sollte differenziert betrachtet werden. Das 3. Lebensalter der „jungen“ (etwa bis Mitte 70) und „mittleren Alten“ (etwa bis Mitte 80) verläuft in entwickelten Ländern zumeist ohne Einschränkungen. Es ist geprägt von selbst gewählten Aktivitäten (Reisen, freiwillige Arbeit, Hobbies usw.), die über die Möglichkeiten der fremd kontrollierten Berufsjahre hinausgehen („Belle Epoque“). Die Lebenszeit für aktiv-gesundes Alter dehnt sich aus. Für diese Gruppe werden „anregende“ Raumstrukturen benötigt.

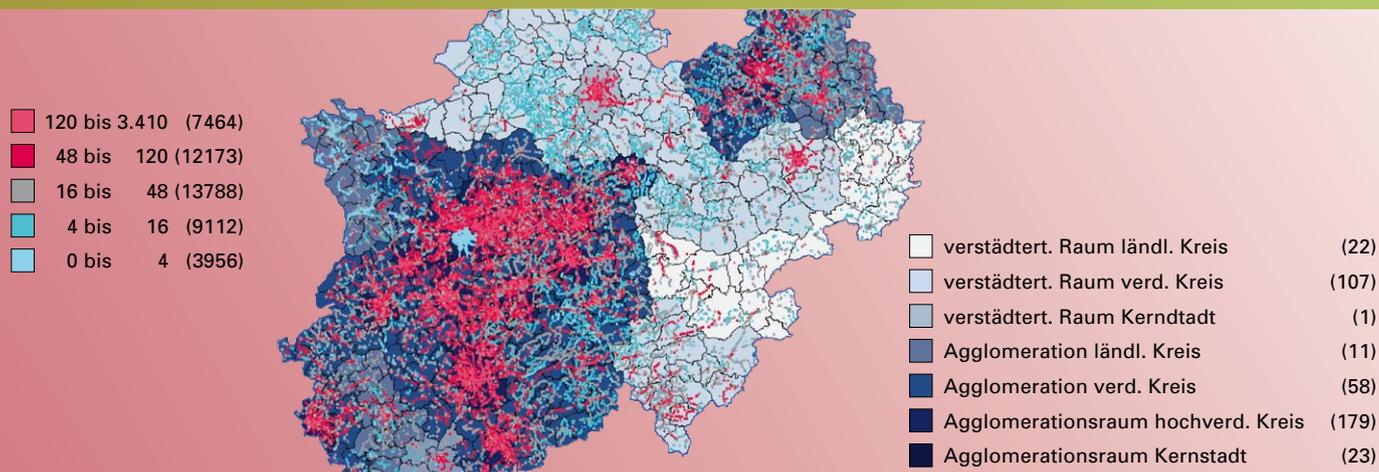
In der 4. Lebensphase erfasst mit voranschreitendem Alter die zunehmende Verdichtung von körperlichen Einschränkungen über die Hälfte der „Hochbetagten“ (85 Jahre und älter). Die verschiedenen Behinderungen, Einbußen und Krankheiten sind durch medizinische

Abb. 2: Berufspendlerverflechtungen in Nordrhein-Westfalen (Anzahl der Pendler), (Huber, Brosch, Reinbold, 2008).

Fig. 2: Commuter patterns in NRW.



## { Changing spatial, urban and transportation structures }



Maßnahmen nur noch schwer auszugleichen. Es scheint zwar, dass Menschen mittleren Alters ihre autobezogene Prägung bis weit ins hohe Alter beibehalten werden. Trotzdem ist bei Senioren ab einem bestimmten Grad der physischen Einschränkung eine Verunsicherung zu verspüren. Sie verwenden das Auto zunächst nur noch im vertrauten Nahbereich, lassen es zunehmend stehen und sehen sich nach alternativen Fortbewegungsmitteln um. Für diese Gruppe werden einfach zu begreifende und das Sicherheitsbedürfnis unterstützende Raumstrukturen benötigt.

Neben der Alterung verändern Wanderungen Menge und Aufbau der Bevölkerung. Da sich vor allem die jüngeren und besser ausgebildeten Menschen in Bewegung setzen, bleiben ältere und sozial Schwächere zurück. Auch auf lokaler Ebene erleben wir solche Effekte der sozialen Entmischung als Entwicklung von Problemstadtteilen. Auf regionaler Ebene werden die dünn besiedelten ländlichen Räume in Ostdeutschland weiterhin an Bevölkerung verlieren, Tendenz abschwächend. Regionen mit Bevölkerungszuwachs liegen in den wirtschaftsstarken Zentren der alten Bundesländer wie München, Stuttgart, Frankfurt, Düsseldorf oder Hamburg. Auf lokaler Ebene verzeichnen wir Wachstum nur noch außerhalb der Großstädte und Agglomerationszentren und deren erweitertem Umland, etwa dem „Speckgürtel“ von Berlin. Der bisher ländlich geprägte Raum im Stadumland wird weiter verstädtern.

Künftig wird die Bundesrepublik durch ein Nebeneinander von Siedlungsdruck in wirtschaftlich dynamischen Räumen und Entvölkerung im peripheren ländlichen Raum und in den altindustriellen Städten geprägt. In Westdeutschland nehmen die Regionen mit Tendenz zur Schrumpfung etwa in den altindustriellen Verdich-

tungsgebieten des Ruhrgebiets weiter zu. Planer sprechen von „shrinking cities“, von schrumpfenden Städten. Die immer stärkere Ausbildung von Unterschieden, das Nebeneinander von blühenden Quartieren und herunterkommenden Straßenzügen oder Vierteln wird sich innerhalb der Städte fortsetzen; es entstehen aufgegebene Bereiche. Verwahrlastet erst einmal ein Gebäude, dann greift diese Entwicklung wie ein „Krebsgeschwür“ bald auf die Nachbargebäude über. In bestimmten Teilmärkten und Stadtquartieren entstehen erkennbar Leerstände. Wertberichtigungen müssen vorgenommen werden, Objekte vom Markt genommen – sprich abgebrochen – werden. Es entstehen Baulücken und Branchen, der Planer spricht von der „perforierten Stadt“.

Die Kommunen müssen bei der Diskussion u. a. über den Abbruch etwa von Gebäuden, Baublöcken und Blockrändern die spezifischen Nachfragebedingungen und funktionalen Anforderungen des Öffentlichen Personennahverkehrs und des Fuß- und Radverkehrs berücksichtigen. Dies ist nicht alleine eine Aufgabe der Wohnungswirtschaft oder der Stadtgestalt. Die Verkehrsplanung muss sich (wie alle anderen Infrastrukturbereiche) mit ihren Belangen in die Entwicklung der Stadtstrukturen im Zuge des Stadumbaus einmischen!

Eine schrumpfende Gesellschaft bekommt Finanzierungsprobleme, wenn immer weniger Menschen gleichbleibende Infrastrukturangebote bezahlen müssen. Nun könnte man die angebotenen Verkehrs- und Infrastrukturleistungen mit der schrumpfenden Bevölkerungszahl in vergleichbarem Umfang zurückfahren. Diese Betrachtung vernachlässigt die räumliche Dimension. Die Siedlungen schrumpfen leider nicht vom Rand Richtung Stadtmitte, sondern sie behalten ihre Form (oder wachsen gar noch) und die Einwohnerdichte »

» nimmt ab. Damit werden Bau, Betrieb und Erhaltung von Verkehrsinfrastrukturen für den Einzelnen tendenziell immer teurer.

Eine alternde Gesellschaft leidet nicht nur darunter, dass sie immer mehr Geld für Sozialleistungen wie Alterssicherung, Gesundheits- oder Betreuungskosten aufwenden muss, und dies bei rückläufigem Anteil von Erwerbspersonen zu Leistungsempfängern. Eine alternde Gesellschaft verfügt auch nicht mehr über so viele junge

Menschen, die frisch ausgebildet und in den neuesten Technologien geschult in den Arbeitsprozess drängen. Und ihr fehlen die jungen Menschen, die ein Wagnis im Sinne der „Schumpeter’schen Pionierunternehmer“ eingehen. Dies sind Gründe dafür, dass das wirtschaftliche Wachstum in den vor uns liegenden Jahren eher bescheiden ausfallen wird. Hinzu kommt, dass im weltweiten Verteilungswettbewerb um fossile Brennstoffe zunehmend mehr Mittel für die Energieversorgung aufgewendet werden müssen.

Diese Rahmenbedingungen führen zu der Frage, wie viel Geld die Menschen für die Alltagsmobilität künftig werden aufwenden können. Viele Verkehrsplaner träumen beispielsweise vom „hochwertigen ÖV“, um den Wettbewerb um Kunden mit dem Automobil aufzunehmen. Insbesondere wenn das Auto künftig ebenfalls eine starke Wandlung erfahren wird, scheint angesichts leerer Kassen die Frage wichtig, welches die notwendigen Straßeninfrastrukturen auf der einen Seite und die unabdingbaren Angebotsparameter des ÖPNV auf der anderen Seite sein sollen.

In die Neubauplanung aufwändiger Infrastruktur müssen Langfrist- und „life-cycle-Betrachtungen“ einbezogen werden. Die Konzentration auf Erhaltung der Infrastruktur hat Vorrang, da sie den höchsten Nutzen an Leistungserstellung bringt.

Aus demografischen Gründen und zur Erreichung der Klimaschutzziele in den Großstädten und Verdichtungsräumen muss der ÖPNV zum Rückgrat des Verkehrs werden. Die Linien- und Bedienungsangebote müssen sich künftig an den wirklichen Beförderungsbedürfnissen einer „kritischen Menge“ von Einwohnern orientieren. Neue U-, Stadt- oder Schienenpersonennahverkehrsangebote werden zunehmend die Ausnahme werden.

Abb. 4: Strukturüberlegungen zur Angebotsgestaltung im Öffentlichen Verkehr Nordrhein-Westfalens anhand der Einwohnerdichte (Huber, Brosch, Reinbold, 2008).

Fig. 4: Structural concept for NRW public transport related to population density.

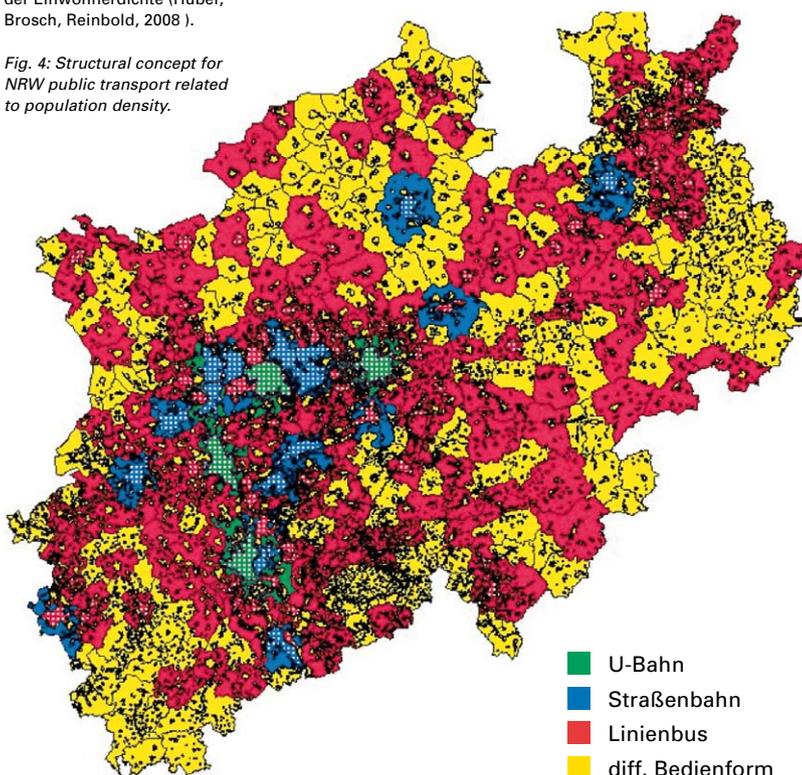


Abb. 5: Segway-Führer-scheinausbildung für angehende Verkehrsplaner.

Fig. 5: Segway training for traffic planners.



Bisher noch viel zu wenig berücksichtigt werden die Belange des Fußverkehrs. Während für den Radverkehr zumindest in topografisch günstigen Regionen die Vernetzung von Radwegesystemen und der Bau von Radverkehrseinrichtungen (Werkstätten, Parkgaragen usw.) kontinuierlich vorangetrieben werden, gilt dies nicht im gleichen Maße für den Fußgängerverkehr. Vor dem Hintergrund der Klimadebatte bedarf dieses energetisch „günstigste Verkehrsmittel“ dringend eine Qualifizierung der Fußwege und eine bessere und transparentere Vernetzung.

Im Individualverkehr wird sich der Wandel von der fossilen erdöl-gestützten zur postfossilen Mobilität über die steigenden Energiekosten zwangsweise ergeben. Energie für den Verkehr wird nach dem Oil Peak knapper und teurer sein. Sparsamere Autos und alternative Treibstoffe werden allerdings allein nicht ausreichen, um die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu erreichen. „Auto“-Mobile müssen noch energieeffizienter oder Elektro-Mobile werden. Die Nahmobilität ist zu stärken!

Ziel dieser Darstellung ist die Verdeutlichung der Entwicklungen, die eine spezifische planerische Auseinandersetzung mit den sich weiter ausdifferenzierenden Raum-, Siedlungs-, Bevölkerungs- und Verkehrsstrukturen der Einzelräume notwendig macht, um die künftige Angebotsgestaltung von Raum-, Stadt- und Verkehrs-

strukturen sachgerecht auslegen zu können. Eine „attraktive“ postfossile Gesellschaft ist keine automatische Folge dieses Strukturübergangs. Es geht darum, den Übergang zu gestalten. Der Klimaschutz muss an den städtischen Agglomerationen ansetzen. Der Bevölkerungsrückgang wird erheblich zur CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen. Ziel muss die Umkehr der sub- in eine re-urbane Stadtentwicklung sein. Nicht erst hohe Energiekosten dürfen die räumliche Reorganisation bewirken. Der periphere ländliche Raum wird dagegen die Aufgaben des Naturraumes sowie des Nahrungsmittelbereitstellungs- und Energieversorgungsraumes übernehmen.

Die Politik hat massiven Handlungsbedarf hinsichtlich der Gestaltung der Folgen demografischer Entwicklungsprozesse, der Anforderungen des Klimaschutzes und des Übergangs in eine postfossile Gesellschaft. Dafür benötigt sie die Entwicklung gesellschaftlich akzeptierter Strategien. Strukturveränderungsprozesse und Anpassungsnotwendigkeiten müssen „vorgedacht“ und der Gesellschaft verständlich erläutert werden. Dieser Aufgabe sieht sich das Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen am Fachzentrum Verkehr der Bergischen Universität Wuppertal verpflichtet. ◉

<http://srv-004.bau.uni-wuppertal.de/LUIS>

# Asphalt für höchste Beanspruchung und lange Nutzung



von / by

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Beckedahl

beckedah@uni-wuppertal.de



Abb. 1: Asphaltplatte, der Bohrkern entnommen wurden.

Fig. 1: Asphalt slab from which sample cores have been taken.

Abb. 2: Walzsektorverdichter zur Herstellung von Asphaltplatten.

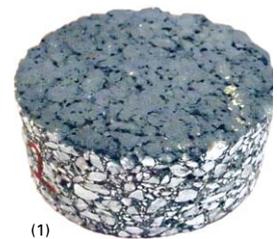
Fig. 2: Rollercompactor for production of asphalt slabs.



Durch Änderungen klimatischer Randbedingungen und steigender Güterverkehrsleistungen in Deutschland wachsen die Beanspruchungen des Straßennetzes. Die bislang verwendeten Asphalte können die Anforderungen an die Nachhaltigkeit kaum noch erfüllen. Neue Asphalte mit längerer Nutzungsdauer müssen verschiedene Prüfungen durchlaufen, bevor Prototypen im qualifizierten Straßennetz als Standardlösungen akzeptiert werden. Untersuchungen im Labormaßstab liefern deutliche Hinweise auf optimierte Asphalteeigenschaften. Etliche Modifizierungen von Bitumen und/oder Asphalt wurden mit dem Ziel einer Nutzungsdauerverlängerung im Bergischen Straßenbaulabor (BESTLAB) der Uni Wuppertal entwickelt und erfolgreich getestet.

Abb. 3:  
Bohrkern (1),  
Marshallpro-  
bekörper (2)

Fig. 3:  
(1) Sample  
core;  
(2) Marshall  
specimen



(1)



(2)

**C**limatic change and an increasing number of heavy vehicles are taking their toll of Germany's road network. Conventional asphalts are wearing out too quickly; new long-life types are needed. These have to undergo various tests before they can be accepted as standard solutions for regular road surfaces. Laboratory investigation provides valuable evidence for optimizing the properties of asphalt, and UW's regional road engineering lab

(BESTLAB) has developed and successfully tested a number of modifications to standard bitumen and asphalt. ☉

**D**as Gebrauchsverhalten von Asphalt wird im Wesentlichen durch die Widerstände gegen Spurrinnenbildung (Standfestigkeit), Ermüdung und Kälterissbildung gekennzeichnet. Darüber hinaus beeinflussen Alterung, Selbstheilung, Haftung zwischen Bindemittel und Gestein sowie Herstellungsqualität das Gebrauchsverhalten erheblich. Zur Vorhersage des Gebrauchsverhaltens sind Performance-Tests in jedem Fall unverzichtbar.

Die hier relevanten Performance-Tests werden an Asphaltprüfkörpern durchgeführt, die für diesen Zweck unter Laborbedingungen hergestellt werden. Asphaltplatten (Abbildung 1) werden mit dem Walzsektorverdichter (Abbildung 2) walzend verdichtet. Sie werden einerseits zum Ausbohren von Prüfkörpern, die zur Ermittlung von Steifigkeit und Ermüdung dienen, und andererseits zur Durchführung des Spurbildungsversuchs verwendet. Durch Schlagverdichtung hergestellte Marshallprobekörper (Abbildung 3) werden zur Bestimmung des Haftverhaltens zwischen Bitumen und Gestein eingesetzt.

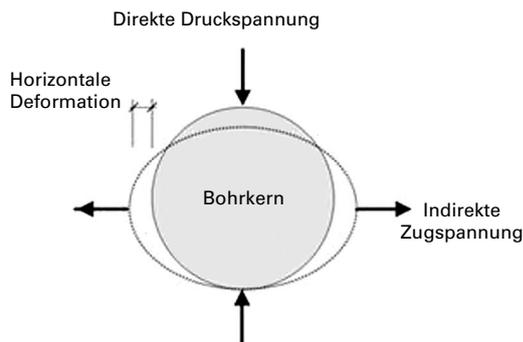
Die temperaturabhängige Asphaltsteifigkeit (DIN EN 12697-26) wird, wie auch die Ermüdungssteifigkeit (DIN EN 12697-24), mit dem dynamischen Spaltzugversuch (Abbildung 4) an Bohrkernen bestimmt.

Die Ermüdungsversuche werden an mehreren Bohrkernen bei 20°C und unterschiedlichen Spannungsniveaus durchgeführt. Der Prüfkörper wird so oft wiederholt mit der Prüfspannung beaufschlagt, bis ein Ermüdungsbruch eintritt oder die Steifigkeit auf einen Wert von  $\leq 50\%$  des Ausgangswertes abgesunken ist. Zur Beschreibung der Ermüdungssteifigkeit dient der funktionale Zusammenhang zwischen der im Dauer-versuch auftretenden anfänglichen Dehnung und der Bruchlastwechselzahl, die Wöhlerlinie.

Der Spurbildungsversuch (TP A-StB SBV) wird an Asphaltplatten zur Bestimmung der Standfestigkeit durchgeführt (Abbildung 5). Ungünstige Asphaltzusammensetzungen, geringe Verdichtungsgrade der fertigen Schicht, hohe Temperaturen, geringe Fahrgeschwindigkeiten, hohe Spurtreue, hohe Unterlagesteifigkeit und große Lasten begünstigen die Spurrinnenbildung. »

Abb. 4: Dynamischer Spaltzugversuch; Prinzip (l.), Prüfrahrmen mit Bohrkern (r).

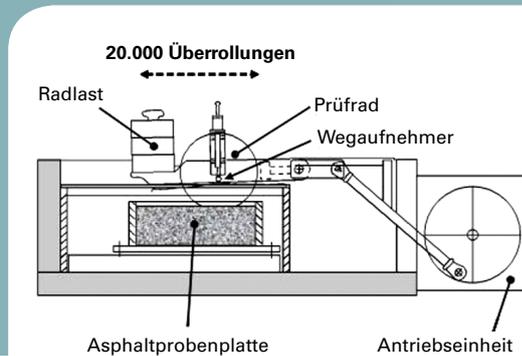
Fig. 4: Dynamic indirect tensile test: l. explanatory diagram; r. frame press with sample core.



# Asphalt für höchste Beanspruchung und lange Nutzung

Abb. 5: Spurbildungsversuch; Prinzip (l) Versuchsanordnung mit Stahlrad (r).

Fig. 5: Rut formation testing: l. explanatory diagram; r. experiment with steel wheel.



» Zur Beurteilung des Haftverhaltens zwischen Gestein und Bindemittel wird das in Wuppertal entwickelte Verfahren nach NÖSLER angewendet. Die Steifigkeit von Marshallprobekörpern wird bestimmt, und zwar vor und nach einer definierten Wasserlagerung. Ist die Steifigkeitsabnahme nach der Wasserlagerung  $> 30\%$ , ist der haftkritische Grenzwert überschritten.

Polymere verbessern i.d.R. die Gebrauchseigenschaften von Bitumen und Asphalt. Elastomere, die hohe elastische Rückstellkräfte mobilisieren können, werden häufiger zur Herstellung von gebrauchsfertig polymermodifiziertem Bitumen (PmB) verwendet als Plastomere. Polymere aus Altreifengummi werden zu so genanntem gebrauchsfertig gummi-modifiziertem Bitumen (GmB) verarbeitet. Polymere bewirken vordergründig eine Erhöhung der Viskosität des Bitumens.

Werden Polymere während der Asphaltherstellung zugegeben, spricht man von polymermodifiziertem Asphalt (PmA). Es werden sowohl Plastomere aus ungebrauchten Stoffen als auch aus recycelten Kunststoffen, RC-Plastomere, verwendet. Meistens werden bei der PmA-Herstellung höhere Mischtemperaturen und längere Mischzeiten erforderlich. Sowohl polymermodifizierte Asphalte als auch Asphalte mit polymermodifizierten Bindemitteln zeigen im Vergleich zu unmodifizierten Varianten i.d.R. höhere Stand- und Ermüdungsfestigkeiten sowie besseres Kälte- und Haftverhalten. Die Anforderungen an Standard PmB sind in den TL Bitumen-StB geregelt. Abweichend davon werden Spezialprodukte, meist hochpolymermodifiziertes Bitumen (PmB H), für spezielle Anwendungen entwickelt.

Im Wuppertaler BESTLAB wurden in der letzten Zeit hunderte unterschiedliche Asphaltmixturen getestet und daraus nachhaltige Asphalte für höchste Beanspruchungen entwickelt.

Diese Asphaltvarianten zeichnen sich durch sehr hohe Standfestigkeiten, Ermüdungsfestigkeiten, Steifigkeiten bei höheren Asphalttemperaturen und deutlich verbesserte Haftung zwischen Gestein und Bindemittel aus.

Für die Entwicklungen der nachhaltigen Asphaltvarianten wurden neben PmB H und GmB auch Plastomere und RC-Plastomere für PmA verwendet. Während sich durch die Zugabe von Elastomeren und Plastomeren das Bitumenvolumen in gleichem Ausmaß verringern lässt, werden die RC-Plast-Anteile auf die Masse des Gesteinskörnungsgemisches bezogen und zusätzlich dem Mischgut zugegeben. RC-Plast erzeugt Punktverklebungen, vergrößert die Mörtelmenge und vermindert somit den Hohlraumgehalt.

Die Steifigkeit kann je nach verwendetem Ausgangsbitumen und Modifizierungsgrad im Vergleich zu konventionellen Asphalten bei einer Temperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  höher, gleich oder niedriger ausfallen. Um die angestrebten Gebrauchseigenschaften sowohl bei sommerlichen als auch bei winterlichen Temperaturen zu erreichen, ist eine möglichst geringe Temperaturempfindlichkeit anzustreben.

Für GmA zeigt sich, dass mit einer Erhöhung der Gummizugabemenge die Steifigkeit bei  $20^{\circ}\text{C}$  bei gleichzeitig sinkender Temperaturempfindlichkeit zunimmt.

Bei den Plastomer-PmA-Varianten nimmt die Steifigkeit mit steigendem Plastomeranteil deutlich zu. Die Variante AC B 10 Plast erreicht mit  $10.664\text{ MN/m}^2$  eine sehr hohe Steifigkeit, die um  $150\%$  höher ausfällt als die Steifigkeit des Referenzasphaltes mit Standard PmB. Die Steifigkeit der RC-Plastomer-PmA-Varianten steigt mit zunehmendem RC-Plast-Anteil. Die Steifigkeit der AC B 0,4 RC-Plast Variante ist mit  $8.693\text{ MN/m}^2$  mehr als

doppelt so hoch wie die der Referenzvariante. Bezüglich der Standfestigkeit wirken sich Bitumenmodifikationen besonders positiv aus. Unter Verwendung von GmB ist darüber hinaus noch ein systematischer Einfluss der Gummipartikelzugabemenge auf die Standfestigkeit erkennbar. Auch die Plastomer- und die RC-Plastomer-PmA-Varianten zeigen gegenüber den Referenzvarianten erhebliche Verbesserungen der Standfestigkeit.

Die Ermüdungsfestigkeit der im BESTLAB entwickelten Asphalte ist generell höher als bei konventionellen Vergleichsvarianten. So sind beispielsweise die Bruchlastwechsellasten der innovativen Varianten 8 bis 20 Mal höher als die der konventionellen Variante. Die Verbesserung des Haftverhaltens zwischen Bitumen und Gestein unter Einwirkung von Wasser fällt besonders deutlich aus, wenn ein Sonderbindemittel verwendet wurde, und wird sich direkt auf die Verlängerung der Nutzungsdauer auswirken.

2005 stellte die Stadt Wuppertal eine Busspur in der Elberfelder Innenstadt als Versuchstrecke zur Verfügung. Im Rahmen einer Erneuerungsmaßnahme sollte die Gebrauchstauglichkeit eines 140 Meter langen innovativen Abschnittes mit der eines 120 Meter langen konventionellen Abschnittes verglichen werden. Der innovative Abschnitt weist eine signifikant höhere Verkehrsbeanspruchung auf als der konventionelle Abschnitt. Die innovativen Asphalte, die sich von den konventionellen Varianten lediglich durch das verwendete Bindemittel unterscheiden, zeichnen sich durch sehr hohe Standfestigkeiten, hohe Steifigkeiten bei höheren Asphalttemperaturen und deutlich verbesserter Haftung zwischen Gestein und Bindemittel aus.

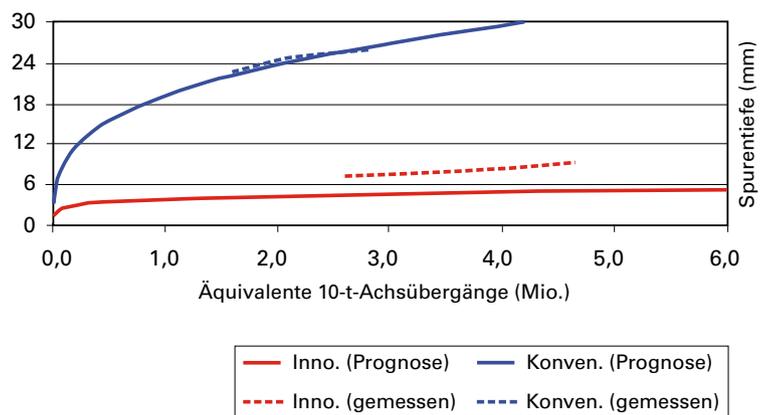
Die Spurrinnenentwicklung wurde jährlich ermittelt (Abbildungen 7 und 8) und mit der prognostizierten

Spurtiefe verglichen (Abbildung 6). Bei der konventionellen Variante tritt deutlich die Zwillingsbereifung der Busse hervor. Zum Zeitpunkt der Messung 2006 betrug die maximale bleibende Verformung zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt des Querprofils 22,6 Millimeter. Für eine einjährige Liegezeit ist eine solche bleibende Verformung nicht tolerierbar. Die Spurrinnen veränderten sich in dem darauf folgenden Jahr nur wenig. Für eine vierjährige Liegezeit ist mit Hilfe des Prognosemodells im Vorfeld eine Spurtiefe von etwa 27,5 Millimeter vorausgesagt worden.

Bei der innovativen Variante zeichnet sich im Querprofil 2008 in der linken Rollspur nur eine geringe Spurrinne ab. Im direkten Vergleich ist die innovative »

Abb. 6: Zeitliche Entwicklung der Spurtiefe (SMA & AC B, Prognose und Messung).

Fig. 6: Rut development: depth by time.



# Asphalt für höchste Beanspruchung und lange Nutzung

» der konventionellen Variante in Bezug auf den Widerstand gegen Spurrinnenbildung weit überlegen. Dies wird auch dadurch deutlich, dass die Verkehrsbeanspruchung im innovativen Abschnitt um ca. 64 % höher ist als im konventionellen Abschnitt.

Für hoch belastete und beanspruchte Straßen sind deutliche Verlängerungen der Nutzungsdauern erzielbar, wenn die dafür geeigneten innovativen Asphalte eingesetzt werden. Nach den BESTLAB-Ergebnissen lassen sich sehr hohe Stand- und Ermüdungsfestigkeiten, hohe Steifigkeiten bei höheren Asphalttemperaturen und bessere Haftung zwischen Gesteinskörnern und Bindemittel erzielen. Die auf der Versuchsstrecke durchgeführten Messungen bestätigen die im BESTLAB gefundenen Ergebnisse. Insofern ist durch die Labor- und in-situ-Ergebnisse ansatzweise von einer Bewährung der Bauweise zu sprechen, auch wenn bisher nur etwa 40 % der angestrebten Nutzungsdauer von 12 Jahren verstrichen ist.

Die Kosten des innovativen Abschnitts lagen ca. 10 % höher als die des konventionellen Abschnitts. Letzterer musste aufgrund der bleibenden Verformungen 2009 bereits wieder ausgebaut werden. Eine erwartete doppelte bis dreifache Nutzungsdauer für den innovativen Abschnitt wird dazu führen, dass sich die höheren Anfangsinvestitionen schnell bezahlt machen.

In der Stadt Bonn und bei Daimler-Benz in Stuttgart wurde – ebenfalls nach BESTLAB-Beratungen – dieser innovative Asphalt für hoch beanspruchte Asphaltflächen erfolgreich eingesetzt. An dieser Stelle sei der Stadt Wuppertal für die tatkräftige Unterstützung während Planung, Durchführung und Beobachtung dieser Versuchsabschnitte herzlichst gedankt. ©

<http://wbserver.bau.uni-wuppertal.de>

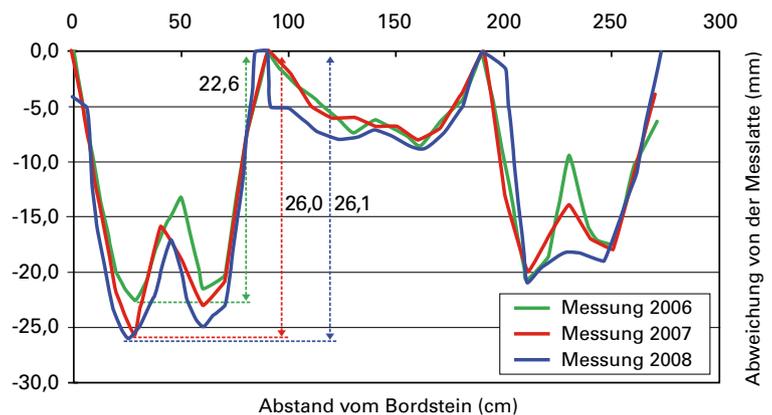


Abb. 7: Querprofilmessungen des konventionellen Abschnitts.

Fig. 7: Standard surface sectional profile.

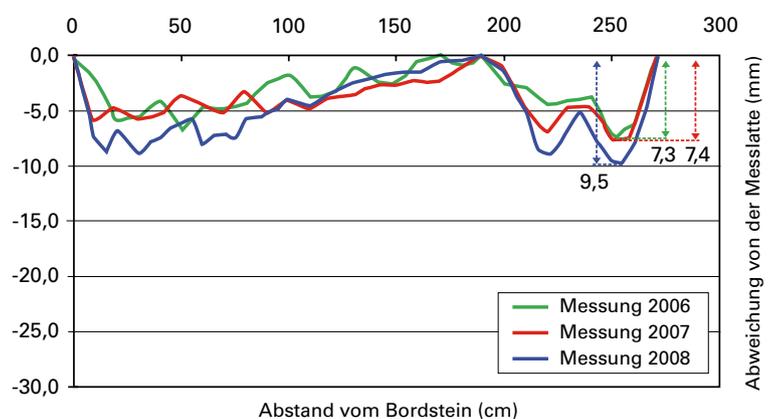


Abb. 8: Querprofilmessungen des innovativen Abschnitts.

Fig. 8: Innovative surface section profile.

# Fair, menschlich, nah. Unsere Sparkasse.



Seit fast 200 Jahren ist die Sparkasse in Wuppertal mehr als nur ein Kreditinstitut. Sie unterstützt fair, menschlich und durch Nähe die Menschen und Unternehmen in unserer Stadt und stärkt damit den Standort Wuppertal. Dadurch hat sie sich zu einem wertvollen und unverzichtbaren Bestandteil des Lebens in der Schwebbahnstadt entwickelt.  
[www.sparkasse-wuppertal.de](http://www.sparkasse-wuppertal.de)

Sparkasse. Gut für Wuppertal.



# Nachhaltige Antriebsstrategien in der Automobilindustrie



von / by

Prof. Dr. Grit Walther

walther@wiwi.uni-wuppertal.de

Fahrzeughersteller sehen sich zunehmend mit Forderungen nach einer Verminderung der nutzungsbedingten Emissionen ihrer Produkte konfrontiert. Möglichkeiten zur Emissionsminderung stellen z.B. die Verbesserung des Wirkungsgrades konventioneller Antriebe oder die Einführung alternativer Antriebs- und Kraftstoffkonzepte dar. Mit dem Ziel der Ermittlung einer aus Herstellersicht optimalen Kombination dieser Maßnahmen wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein dynamisches Simulationsmodell entwickelt, welches gesetzliche Vorgaben sowie Interdependenzen zwischen Käuferverhalten, Fahrzeugangebot, Antriebstechnologien und Infrastruktur berücksichtigt. Die Anwendung und Validierung des Modells erfolgte für den Fall der kalifornischen Gesetzgebung zur Emissionsreduktion für Pkw. Aus den Ergebnissen der Fallstudie wurden konkrete Handlungsempfehlungen für die Automobilindustrie abgeleitet.

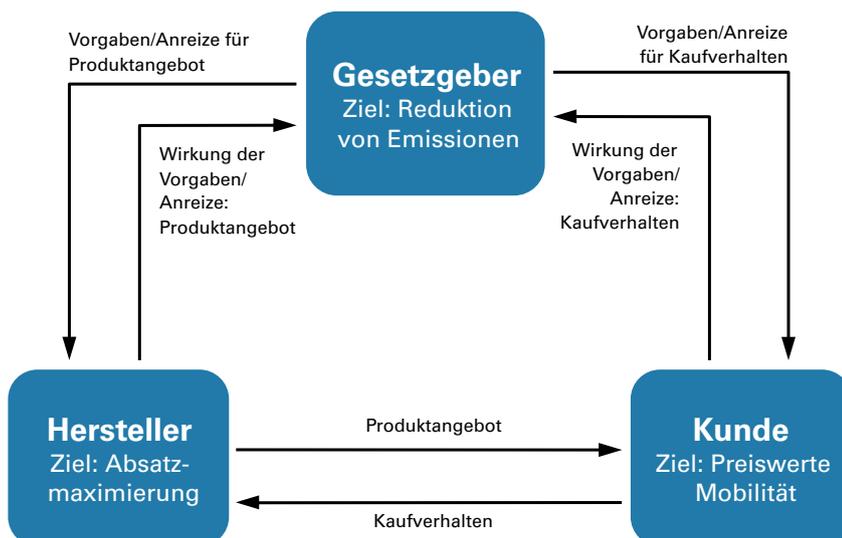


Abb. 1: Interaktion zwischen Akteuren im Automobilmarkt.

Fig. 1: Interaction between automotive market participants.

**A**utomobile manufacturers are increasingly faced with having to reduce vehicle emissions. This can entail either improvement to the efficiency of conventional engines or the introduction of alternative drive and fuel concepts. In order to determine the optimal combination of these factors for the manufacturer, a dynamic simulation research model was developed that takes account of legal requirements as well as interdependencies between

customer attitudes, vehicles offered on the market, engine technologies and infrastructure. Application and validation parameters were set in line with Californian passenger vehicle emissions standards. Research results yielded concrete recommendations for the automotive industry. ◉

**D**er Treibhauseffekt sowie die Ressourcenverknappung sind wesentliche gesellschaftliche Herausforderungen unserer Zeit. In entwickelten Ländern trägt der Verkehrssektor zu 20 bis 30 % aller anthropogen bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei – mit weiterhin steigender Tendenz. Zudem wird in Schwellenländern ein starker Anstieg der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen erwartet, für China bzw. Indien beispielsweise ein Anstieg von 129 % bzw. 143 % bis zum Jahr 2020. Vor diesem Hintergrund versuchen politische Entscheidungsträger mit Hilfe ordnungsrechtlicher Vorgaben oder finanzieller Anreize den Marktanteil emissionsarmer Fahrzeuge zu erhöhen. Fahrzeughersteller sehen sich beispielsweise in Europa ebenso wie in einigen US-Bundesstaaten zukünftig mit Grenzwerten für den Ausstoß von CO<sub>2</sub>-Emissionen für Neufahrzeuge konfrontiert, in einigen Bundesstaaten der USA wird darüber hinaus die Einführung lokal emissionsfreier Fahrzeuge (sog. genannter Zero-Emission-Vehicles – ZEV) verlangt. Bei Nichteinhaltung drohen hohe Strafzahlungen. Zur Einhaltung dieser rechtlichen Vorgaben stehen den Fahrzeugherstellern die in Tabelle 1 aufgeführten Maßnahmen zur Verfügung.

Vor dem Hintergrund der geschilderten Problemstellung besteht die Herausforderung für Fahrzeughersteller nun darin, die genannten Maßnahmen intertemporal optimal zu allozieren und zu kombinieren. Dies muss so erfolgen, dass sowohl die gesetzlichen Anforderungen erfüllt, als auch die unternehmensinternen Zielsetzungen erreicht werden. Die geschilderten Entscheidungen sind dabei in einem komplexen Umfeld zu treffen, das nicht nur durch die Interaktion mit dem Gesetzgeber, sondern insbesondere auch mit den Kunden gekennzeichnet ist, und welches sich zudem durch unsichere Entwicklungen der externen Rahmenbedingungen (z. B. Entwicklung von Rohölpreis und -reserven) auszeichnet (Abbildung 1).

Die beschriebene Problemstellung ist durch ihren hohen Neuigkeitsgrad, einen langen Planungshorizont sowie die Vielzahl der zu berücksichtigenden Akteure und Interdependenzen gekennzeichnet. Bei den zu gestaltenden Systemen handelt es sich um dynamisch komplexe, sozioökonomische Systeme, die sich dadurch auszeichnen, dass kurz- und langfristige Konsequenzen einer Handlung voneinander abweichen sowie nicht-intendierte Wirkungen auftreten können. Die Folgen von Entscheidungen können somit nicht mehr intuitiv abgeschätzt werden. Für die Modellierung derartiger Systeme unter Berücksichtigung von Rückkopplungen, mehrfachen Vernetzungen, Verzögerungseffekten sowie Nichtlinearitäten hat sich die Entwicklung simulationsbasierter Entscheidungsunterstützungssysteme beruhend auf der Methode System Dynamics als geeignet erwiesen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass dynamische Systeme durch ihre Struktur determiniert sind. Als Ergebnis derartiger Entscheidungsunterstützungssysteme werden explizit keine Punktprognosen anvisiert – z. B. können und sollen auf Basis derar-»

Tab. 1: Herstellerseitige Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Table 1: Emission reduction measures taken by manufacturers.

	Ansatzpunkte	Maßnahmen
1	Verbesserung des Wirkungsgrades konventioneller Antriebe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion des Rollwiderstands (Leichtlaufreifen, Massereduktion)</li> <li>▪ Reduktion des Luftwiderstands</li> <li>▪ Downsizing des Motors</li> </ul>
2	Veränderung der Flottenzusammensetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Höherer Anteil Kleinwagen</li> <li>▪ Spezifische verbrauchsarme Fahrzeuge</li> </ul>
3	Einführung alternativer Antriebs- und Kraftstoffkonzepte	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Biokraftstoffe, Erdgas</li> <li>▪ Teilelektrisch: Hybrid, Plug-in Hybrid</li> <li>▪ Vollelektrisch: Batterie, H<sub>2</sub>-Brennstoffzelle</li> </ul>

# Nachhaltige Antriebsstrategien in der Automobilindustrie

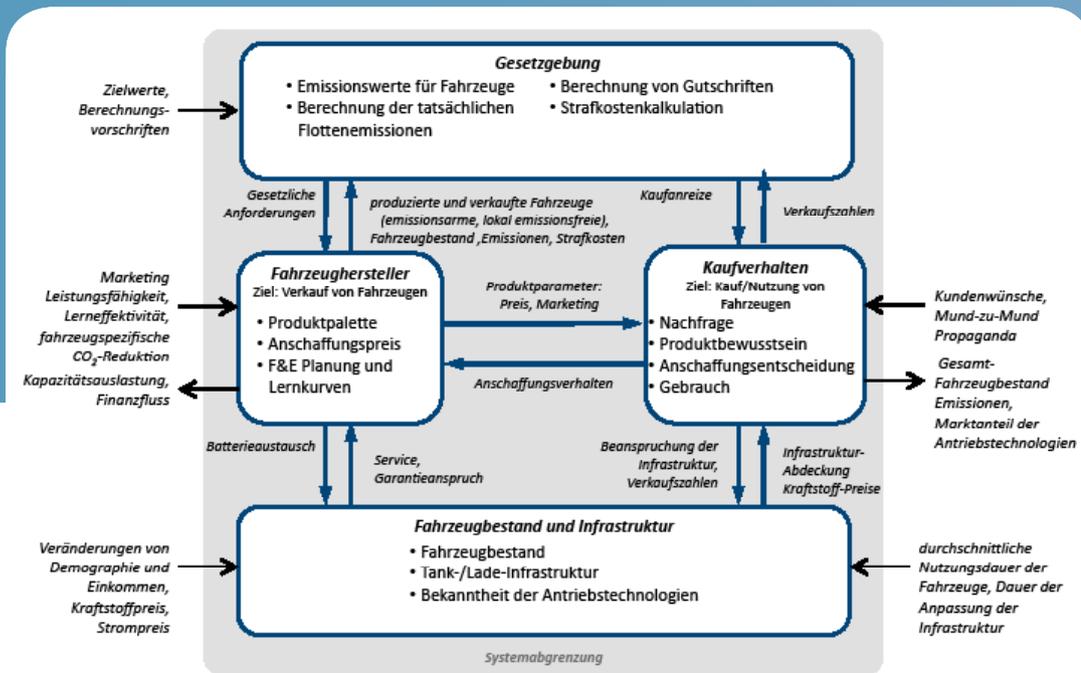


Abb. 2: Modellübersicht (Module mit endogenen sowie exogenen Parametern).

Fig. 2: Model overview: modules with endogenous and exogenous parameters.

» tiger Modelle keine Aussagen über den konkreten Marktanteil von Elektrofahrzeugen im Jahre 2020 getroffen werden. Vielmehr besteht das Ziel darin, über das Aufzeigen von Ursache-Wirkungs-Beziehungen und mit Hilfe von Szenarioanalysen entscheidungsrelevante Parameter zu identifizieren und die Transparenz der Entscheidungssituation zu erhöhen.

Zur Entscheidungsunterstützung im Rahmen der geschilderten Problemstellung der Einführung neuer Antriebsstrategien wurde daher in der von der Autorin bis 2009 geleiteten Arbeitsgruppe „Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke“ an der TU Braunschweig ein systemdynamisches Simulationsmodell entwickelt. Das entwickelte Modell umfasst insgesamt vier interagierende Module (Abbildung 2).

- Im Modul „Gesetzgebung“ erfolgt die Abbildung der gesetzlichen Rahmenbedingungen für emissionsarme und lokal emissionsfreie Fahrzeuge sowie die Berechnung möglicher Strafzahlungen.
- Im Modul „Fahrzeughersteller“ erfolgt die Abbildung des Anpassungsverhaltens eines Herstellers an externe Vorgaben. Hierbei werden explizit Veränderungen der Fahrzeugeigenschaften (Reichweite, Kaufpreis, Emissionen etc.) durch Anpassung an gesetzliche Vorgaben sowie durch technischen Fortschritt (z. B. Energiedichte der Batterien) abgebildet.
- Im Modul „Kaufverhalten“ erfolgt die Abbildung der Auswahlentscheidung der Kunden für Fahrzeugantriebe.

Diesem Modell liegen empirisch geschätzte Erklärungsvariablen der Fahrzeugeigenschaften zu Grunde. Dadurch können Käuferpräferenzen berücksichtigt und Auswahlwahrscheinlichkeiten für Antriebstechnologien auf Basis der Discrete-Choice-Theorie berechnet werden.

- Im Modul „Fahrzeugbestand und Infrastruktur“ wird der Fahrzeugbestand unter Berücksichtigung von Alterungsprozessen sowie der koevolutarischen Entwicklung des Fahrzeugbestandes neuer Antriebstechnologien und der Ladestellen-Infrastruktur abgebildet.

Die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den erläuterten Modellbestandteilen lassen sich in einem Kausaldiagramm zusammenführen, in welchem Pfeile von der unabhängigen (Ursprung) auf die abhängige Systemgröße zeigen. Diese Pfeile sind mit Vorzeichen versehen, je nachdem ob es sich um eine verstärkende (+) oder abschwächende (-) Wirkung handelt. Eine Rückkopplung wirkt selbstverstärkend, wenn alle Kausalbeziehungen gleichgerichtet oder eine gerade Anzahl gegengerichteter Kausalbeziehungen vorhanden sind (*reinforcing*). Ausgleichende bzw. zielsuchende Rückkopplungen besitzen eine ungerade Anzahl gegengerichteter Kausalbeziehungen (*balancing*).

Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, wird die Erfüllung der Gesetzgebung zur Minderung von Treibhausgasen (GHG) sowie zur Einführung lokal emissionsfreier Fahrzeuge (ZEV) durch Verbesserung konventioneller (B1) bzw. alternativer Antriebe (B2, B3, B4) angestrebt.



# Nachhaltige Antriebsstrategien in der Automobilindustrie

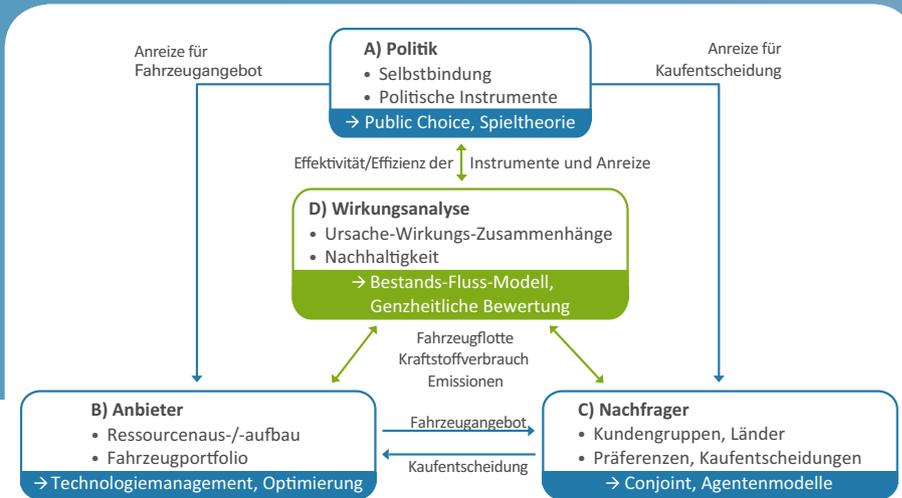


Abb. 4: Arbeitspakete Projekt „STROM – Strategische Optionen der Automobilindustrie für die Migration nachhaltiger Antriebstechnologien“.

Fig. 4: STROM project work packages (STROM = Strategic Options of the Automotive Industry for the Migration of Sustainable Drive Technologies).

» studie lassen sich in vier Aussagen und daraus resultierenden Handlungsempfehlungen zusammenfassen:

1. Zur Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen der GHG-Gesetzgebung sollte der Einsatz verbesserter konventioneller Antriebstechnologien nicht auf einzelne Fahrzeug- bzw. Prestigeprojekte beschränkt bleiben, sondern die Technologie sollte konsequent im gesamten Fahrzeugangebot genutzt werden.

2. Zur Vermeidung von Strafzahlungen müssen alternative Antriebe proaktiv in den Markt eingeführt werden, da sich nur so ein ausreichend großer Markt für diese Antriebe entwickeln kann. Eine reaktive Anpassung des Angebots an die Anforderungen ignoriert die bestehenden Verzögerung in der Nachfrageentwicklung im Rahmen der Diffusion neuer Antriebstechnologien und hat Strafzahlungen zur Folge.

3. Um einen signifikanten Marktanteil für Batteriefahrzeuge zu erreichen, müssen diese in mehreren Fahrzeugsegmenten bzw. im gesamten Fahrzeugangebot angeboten werden.

4. Vollhybride und Plug-in-Hybride können den Markt für Batteriefahrzeuge „vorbereiten“. Da die Batterietechnologie für eine erfolgreiche Marktdurchdringung von Batteriefahrzeugen als derzeit noch nicht ausgereift gilt, sollten Automobilhersteller kurz- und mittelfristig auf Hybrid-Lösungen setzen. Diese können aufgrund ihrer Konkurrenzfähigkeit frühzeitig signifikante Marktanteile generieren.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Politik den Aufbau einer Infrastruktur für alternative Antriebe unterstützen sollte. Die vorgestellten Arbeiten werden zukünftig in einem vom Bundesministerium für Bildung

und Forschung (BMBF) finanzierten Projekt „STROM – Strategische Optionen der Automobilindustrie für die Migration nachhaltiger Antriebstechnologien“ fortgeführt, wobei die Interaktion der Akteure des Automobilsektors im Mittelpunkt der Untersuchungen steht. Im Forschungsprojekt werden zunächst die Entscheidungsmodelle der Akteure Politik (A), Anbieter (B) und Nachfrager (C) unter Zugrundelegung der jeweiligen Ziele und Restriktionen erstellt. Die Interaktionen zwischen den Akteuren werden durch Antizipationsfunktionen abgebildet. Darauf aufbauend erfolgt die Zusammenführung der aktorenspezifischen Modelle unter Berücksichtigung der resultierenden Interdependenzen (D) mit dem Ziel, effektive und effiziente Maßnahmenallokationen aus aktorenspezifischer Sicht und aus Gesamtsystemsicht zu ermitteln und Aussagen über den Erfolg alternativer Antriebstechnologien zu treffen (Abbildung 4).

Das Projekt wird in einer Kooperation der Bergischen Universität (Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Prof. Dr. Grit Walther) mit der Technischen Universität Braunschweig (Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion, Prof. Dr. Thomas Stefan Spengler; Institut für Volkswirtschaftslehre, Prof. Dr. Gernot Sieg; Inst. für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, PD Dr. Christoph Herrmann) bearbeitet. Als assoziierter Partner agiert die Volkswagen AG (Konzern-Marktforschung, Trendforschung und Analysen, Dr. Gilbert Heise). Im Rahmen des Projektes ist eine internationale Forschungsk Kooperation mit der University of Michigan (Prof. Steven Skerlos) geplant. ☉

<http://prodlog.wiwi.uni-wuppertal.de>

# Sicher durch jeden Lebensabschnitt...



Lebens-, Kranken-, Unfall-,  
Sachversicherungen

Barmenia Versicherungen  
Kronprinzenallee 12-18  
42094 Wuppertal  
Tel.: (02 02) 4 38-22 50

[www.barmenia.de](http://www.barmenia.de)  
E-Mail: [info@barmenia.de](mailto:info@barmenia.de)

**Barmenia**  
Versicherungen



# Zuverlässigkeit elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug



von / by

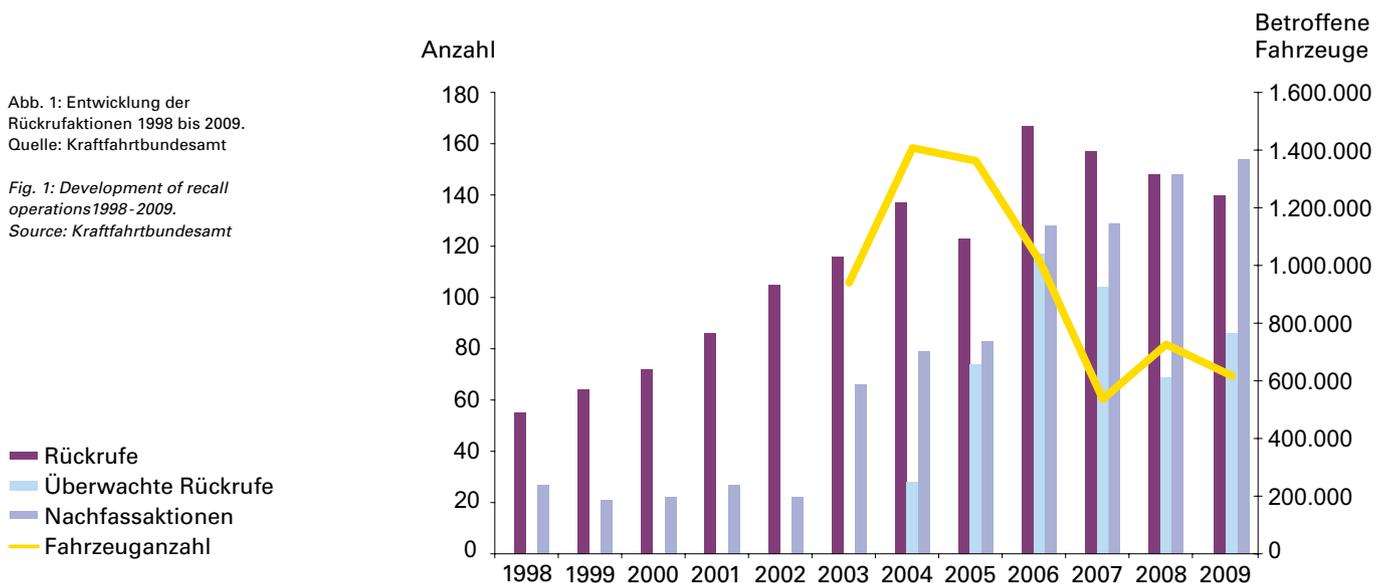
Prof. Dr.-Ing. Arno Meyna

meyna@uni-wuppertal.de

In den letzten 30 Jahren fand in der Entwicklung der Automobilindustrie ein Wandel von rein mechanischen hin zu mechatronischen und elektronischen Komponenten und Systemen im Kraftfahrzeug statt. Der Elektronik im Kraftfahrzeug kommt dabei immer größere Bedeutung zu, weil sie die einzige wirtschaftliche Möglichkeit darstellt, die wachsenden Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Zuverlässigkeit, Umweltschutz und Komfort zu erfüllen. Damit ist gemeint, dass elektronische Systeme den Fahrer bei seinen Aufgaben entlasten und unterstützen (Servosysteme, Fahrerassistenzsysteme), den Verkehr flüssiger gestalten (Car-to-Car Communication, Einbindung in Verkehrsleitsysteme), die Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit steigern, die Umwelt entlasten (Motormanagement, Abgasnachbehandlung) und insbesondere durch die Weiterentwicklung und Verknüpfung von aktiven und passiven Sicherheitssystemen die Verkehrssicherheit erhöhen. Hier sind in den letzten Jahren in allen Bereichen deutliche Erfolge und Fortschritte erzielt worden.

Abb. 1: Entwicklung der Rückrufaktionen 1998 bis 2009.  
Quelle: Kraftfahrtbundesamt

Fig. 1: Development of recall operations 1998-2009.  
Source: Kraftfahrtbundesamt



## { Reliability of electronic systems in motor vehicles }

**T**he past 30 years have seen a migration from purely mechanical to mechatronic and electronic components and systems in automobiles, because electronics present the only economically attainable solution to growing demands for safety, reliability, environmental protection and comfort. Electronic systems support and relieve the driver (servos, driver assistance systems), facilitate traffic flow (car-to-car communication, traffic monitoring and direction systems), enhance performance and economy,

and ease environmental pollution (engine management and emission control systems); in particular, active and passive safety features and systems can significantly increase road safety. Considerable progress has been made in all these areas in recent years. ©

**E**in Blick auf die Entwicklung der Zahl der Verkehrstoten zeigt, dass vom Höchststand 1970 mit 21.332 die Zahl kontinuierlich bis auf 4.154 im Jahr 2009 (Statistisches Bundesamt) gesunken ist, obwohl sich der Fahrzeugbestand im Vergleich zu 1970 um mehr als den Faktor 2,5 erhöht hat. In ihrem „Weißbuch Verkehr“ aus dem Jahr 2001 hat die Europäische Kommission das Ziel vorgegeben, die Zahl der Verkehrstoten in der EU mit über 41.900 im Jahr 2000 bis 2010 zu halbieren. Neben verkehrsrechtlichen Regelungen, Verkehrserziehung und straßenbaulichen Maßnahmen hat insbesondere die Fahrzeugtechnik einen erheblichen Beitrag geleistet, wozu in einem großen Umfang die Elektronik zählt.

Elektronische Systeme lassen sich im Kraftfahrzeug in die Einsatzbereiche Motor mit Antriebsstrang (ca. 30 %, z.B. digitale Motorelektronik), Kommunikation mit Multimedia (ca. 30 %, z.B. Navigation), Komfort (ca. 20 %, z.B. Heizungs- und Klimaregelung) und Sicherheit (ca. 20 %, z.B. ABS, ESP) einteilen. Künftig dürften etwa 90 % der Innovationen im Bereich Elektrik, Elektronik und darin eingebetteter Software stattfinden. Des Weiteren kommt der Elektronik eine hohe wirtschaftliche Bedeutung zu, denn elektronische Baugruppen haben bereits heute einen Anteil von ca. 30 % an der Wertschöpfung eines Automobils – Tendenz steigend.

Ein Durchschnittsauto hat heutzutage Elektrik und Elektronik im Wert von über 2.200 Euro an Bord – bis 2015 werden über 4.000 Euro erwartet. Außerdem sollen durch diese Entwicklung europaweit 600.000 neue Arbeitsplätze entstehen. Ein Serienwagen der Oberklasse kann heute mehr als 90 Elektromotoren, einen Kabelbaum mit einer Länge von bis zu 3.800 Meter, der alleine über 60 Kilogramm schwer ist, ca. 100 Sensoren sowie bis zu 70 Steuergeräte, welche über fünf Bussys-

teme miteinander kommunizieren, enthalten. Unbestritten ist, dass durch den Einsatz elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug die Fahrsicherheit erhöht wird. Das theoretische Gefährdungspotenzial, das inhärent und latent in sicherheitsrelevanten Systemen vorhanden ist, kann jedoch bei Ausfall oder Nichtfunktion zur Gefährdung führen.

Ein Blick in die Entwicklung der Rückrufaktionen (Abbildung 1) zeigt, dass der Trend nach einem stetigen Anstieg bis 2006 zuletzt rückläufig ist, sowohl, was die Anzahl der Rückrufe als auch die der betroffenen Fahrzeuge betrifft. Ungeachtet dessen setzen Hersteller und Zulieferer alles daran, Rückrufaktionen zu vermeiden, weil sie mit hohen Kosten und Imageverlust verbunden sind. Rund ein Drittel der Rückrufe ist auf die Elektrik/Elektronik zurückzuführen. Bei Betrachtung der Pannenstatistiken der Autoclubs (ADAC, ACE etc.) ist auffällig, dass der Anteil der Elektrik/Elektronik ca. 12 % beträgt, wohingegen die Hauptpannenursachen bei der Batterie (ca. 34 %) bzw. dem Motor (ca. 14 %) liegen. Ein Grund für die Anfälligkeit von Elektronik liegt in der zunehmenden Komplexität und Vernetzung elektronischer Baugruppen sowie dem damit zusammenhängenden, immer stärker zunehmenden Anteil an Software. Es ist davon auszugehen, dass die Software künftig über 12 % des Fahrzeugwertes ausmacht. Außerdem werden Entwicklungszeiträume und Produktionszyklen in der Autoindustrie aufgrund des starken Wettbewerbs immer kürzer, so dass für zeitintensive Tests oft wenig Raum vorhanden ist.

Dementsprechend ist es wichtig, dass bereits zu frühem Zeitpunkt in der Systementwicklungsphase zuverlässigkeits- und sicherheitstechnische Themen behandelt und entsprechende Analysen durchgeführt werden. »

# Zuverlässigkeit elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug

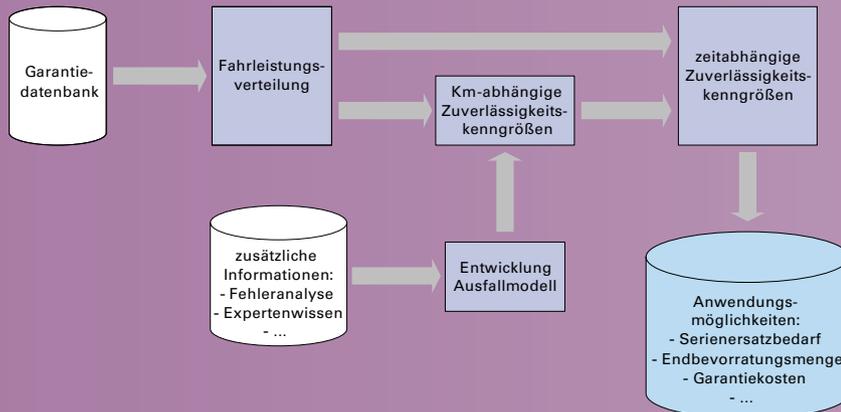


Abb. 2: Ablauf des Zuverlässigkeitsprognosemodells.

Fig. 2: Reliability prognosis model.

» Es liegt auf der Hand, dass an elektronische Komponenten aufgrund ihrer wachsenden Komplexität und weiter steigenden Bedarfs bei Neufahrzeugen große Anforderungen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit gestellt werden. Dabei ergeben sich für den Qualitätsingenieur häufig Probleme, wenn es darum geht, das Ausfallverhalten dieser Komponenten im Feld über einen längeren Zeitraum vorherzusagen. Folglich werden Methoden benötigt, die es den Herstellern ermöglichen, bereits kurz nach Start der Serienproduktion mit Hilfe von Garantiedaten (Ausfälle während der Garantiezeit) das zukünftige Ausfallverhalten der Komponenten im Feld zu bestimmen.

Das an der Universität Wuppertal in Zusammenarbeit mit einem großen deutschen Automobilzulieferer entwickelte Zuverlässigkeitsprognosemodell (Abbildung 2) wurde bereits vielfach eingesetzt, um Aussagen über das zukünftige Ausfallverhalten elektronischer Komponenten zu treffen. Dabei wurde das Modell in den letzten Jahren kontinuierlich weiterentwickelt. Mittlerweile wird es auch eingesetzt, um wirtschaftliche Fragen zu klären. So bietet es unter anderem die Möglichkeit, Abschätzungen für den Serienersatzbedarf, die Endbevorratungsmenge oder künftige Garantiekosten zu prognostizieren. Allein durch die konsequente Analyse von Felddausfalldaten während der Garantiezeit konnte so bei einem automobilen Zulieferer ein siebenstelliger Betrag im Bereich der Endbevorratungskosten eingespart werden!

Das Wuppertaler Zuverlässigkeitsprognosemodell bietet u. a. folgende Nutzungsmöglichkeiten.

## Direkt:

- Abschätzung der mittleren Lebensdauer, der Zuverlässigkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit und des zeitlichen Ausfallverhaltens.

## Indirekt:

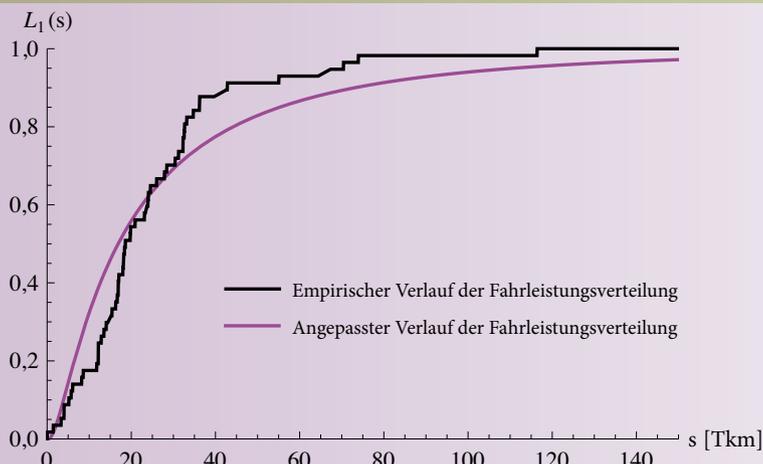
- Abschätzung der Garantiekosten bei Garantiezeitverlängerung, des Serienersatzbedarfs und der Endbevorratungsmenge,
- Bewertung von Systemmodifikationen,
- Verifizierung von Rückrufen sowie der
- Unterstützung bei Neuentwicklungen.

Zunächst werden die empirischen Daten für die Prognose erhoben. Dafür müssen das Zulassungs- und Ausfalldatum sowie die bis zum Ausfall zurückgelegte Fahrleistung erfasst werden. Weiterhin ist als wichtige Größe das Marktvolumen (einschließlich Teilmarktfaktor) der zu untersuchenden Komponente erforderlich.

Für Fahrzeugsysteme ergibt sich bei der Zuverlässigkeits- und Lebensdaueranalyse einer Komponente jedoch die Problematik, dass ein System nicht zwangsläufig während des normalen Fahrbetriebes aktiv ist. So werden einige Systeme nur sehr selten aktiviert und befinden sich zum größten Teil im Standby-Modus oder sind abgeschaltet. Bei vielen Systemen wird jedoch deren Betriebsdauer nicht elektronisch erfasst und aufgezeichnet. Aus diesem Grund wird die Betriebszeit über die Fahrleistung des Fahrzeuges abgebildet. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Fahrleistung während der Garantiezeit von Fahrer zu Fahrer sehr unterschiedlich sein kann, wodurch Systeme bei Wenigfahrern geringer belastet werden als bei Vielfahrern. Aus diesem Grund wird im ersten Schritt des Zuverlässigkeitsprognosemodells (Abbildung 3) die Fahrleistung der Fahrzeuge auf ein Jahr umgerechnet. Grundlage dieser Umrechnung sind die Fahrleistungen während der Garantiezeit. Im Fachgebiet Sicherheitstheorie und Verkehrstechnik liegen hierzu für fast alle in Deutschland zugelassenen Personenkraftwagen die Fahrleis-

Abb. 3: Empirischer und daran angepasster Verlauf der Fahrleistungsverteilung.

Fig. 3: Empirical mileage data and fitted theoretical function.



tungsverteilungen (4,5 Millionen Datensätze) vor. Als Anpassungsfunktion für die Fahrleistung hat sich u.a. die logarithmische Normalverteilung bewährt.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nicht alle Fahrzeuge während der Garantiezeit die gleiche Strecke zurücklegen, ergibt sich eine Differenz zwischen den aufgetretenen Ausfällen und den Ausfällen, die noch zu erwarten sind, bis alle Fahrzeuge eine definierte Strecke zurückgelegt haben. Diese Differenz wird durch eine Anwärterprognose ausgeglichen (Abbildung 4). Die Anzahl der Anwärter  $n_k(s)$  errechnet sich dabei aus dem Quotienten der Strecke  $s$  der aufgetretenen Fehler  $n_g(s)$  und der spezifischen Fahrleistungsverteilung  $L_g(s)$  während der Garantiezeit. Es ergibt sich die einfache Beziehung:

$$n_k(s) = \frac{n_g(s)}{1 - L_g(s)}$$

Mit dieser Korrektur kann nun die empirische Ausfallwahrscheinlichkeit  $\tilde{F}(s)$  aus nachfolgender Gleichung:

$$\tilde{F}(s) = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{\xi \leq s} \frac{n_g(\xi)}{1 - L_g(\xi)}, \text{ mit } n_0 = \text{Marktvolumen}$$

berechnet werden.

Aus den Ergebnissen, die aus der kilometerabhängigen Zuverlässigkeitsprognose und der Fahrleistung gewonnen wurden, können nun Aussagen zur zeitlichen Abhängigkeit der Ausfälle prognostiziert werden, die für die Hersteller von besonderer Bedeutung sind, da nun Informationen zum zeitabhängigen Ausfallverhalten einer Komponente vorliegen. Dieses Wissen kann dann u.a. dazu verwendet werden, um Überkapazitäten minimal zu halten oder Lieferverzögerungen von Ersatzteilen zu vermeiden. Die Prognose der

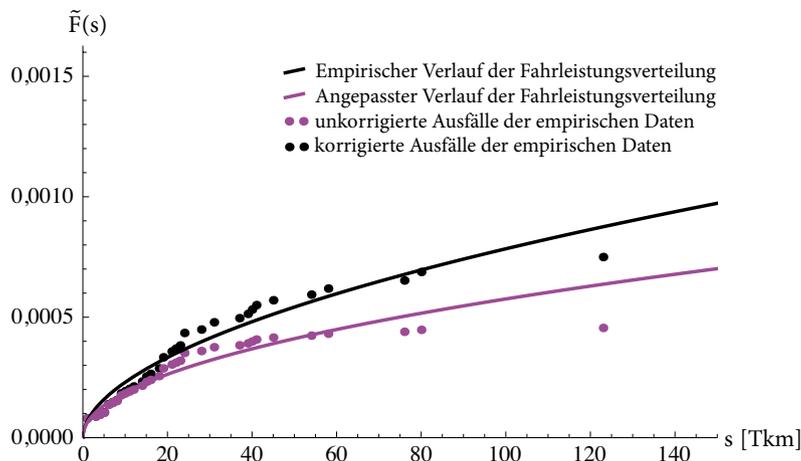


Abb. 4: Kilometerabhängiger Ausfallverlauf mit der Anwärterkorrektur.

Fig. 4: Original and corrected failure km-dependent failure distribution.

Ausfallwahrscheinlichkeit  $F(t)$  steht in Abhängigkeit zur Fahrleistungsverteilung und ist über folgende Gleichung gegeben:

$$F(t) = \int_0^{\infty} f_k(s) \cdot \left( 1 - L_1\left(\frac{s}{t}\right) \right) ds \quad \text{für } t > 0.$$

$L_1\left(\frac{s}{t}\right)$  bezeichnet hier die Fahrleistungsverteilung in Abhängigkeit zur Strecke  $s$  und der Zeit  $t$  und  $f_k(s)$  die Dichte der km-abhängigen Lebensdauer. Aus den Eingangsverteilungen kann nach Integration über die Strecke  $s$  und mittels entsprechender Anpassungstests eine zeitlich abhängige zwei-parametrische Weibull-Verteilung der Form  $W(\alpha, \beta)$  angepasst werden.

Weitere Zuverlässigkeitskenngrößen, wie z. B. die Ausfallrate (Abbildung 5), können durch einfache Umrechnung ineinander überführt werden. Die so berechneten Kenngrößen bilden die Grundlage für alle weiteren Anwendungsmöglichkeiten des Prognosemodells. »

# Zuverlässigkeit elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug

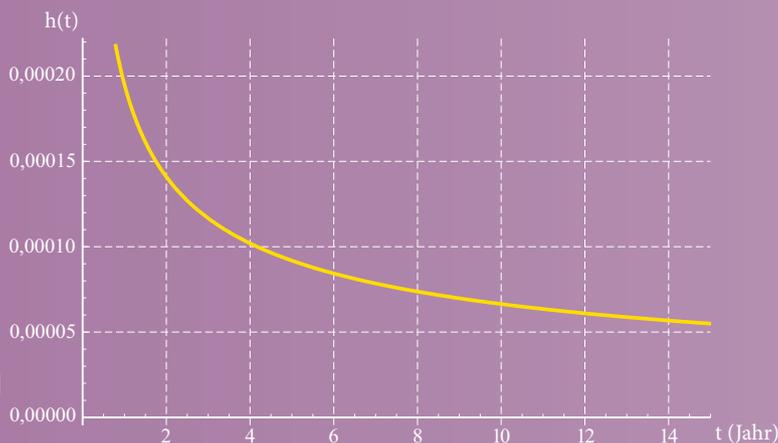


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Ausfallrate.

Fig. 5: Hazard rate.

» Aufbauend auf das allgemeine Zuverlässigkeitsprognosemodell wurde im Rahmen eines DFG-Projektes ein neues Zuverlässigkeitsprognosemodell für zeitnahe Garantiedaten, das u. a. Einflüsse des Zulassungs- und des Meldeverzugs berücksichtigt, entwickelt. Ferner wurde ein entsprechendes Prognose-Tool erarbeitet.

Bei den heutigen standardisierten Zuverlässigkeitsuntersuchungen wird häufig eine Zufallsvariable bestimmt, anhand deren die Zuverlässigkeit einer Komponente oder eines Systems ermittelt wird. Oft ist dies die Betriebszeit oder im Automobilbereich – wie bereits erwähnt – die Kilometerleistung bis zum Ausfall. Hierbei wird außer Acht gelassen, dass viele weitere Belastungen die Zuverlässigkeit einer Komponente beeinflussen. So ist beispielsweise bekannt, dass Umgebungsbedingungen, Einbauort und Nutzerverhalten großen Einfluss auf die Lebensdauer haben. Allerdings ist es schwierig, die Wirkungsweisen dieser Belastungskenngrößen funktional zu beschreiben, weshalb diese oft vernachlässigt werden.

In einem ersten Ansatz zur Implementierung von Belastungskenngrößen bei Zuverlässigkeitsanalysen („Dynamische Zuverlässigkeit“) kommen so genannte „Künstliche Neuronale Netze“ zum Einsatz, welche Gegenstand eines DFG-Projektes zur Grundlagenforschung waren. Diese lernfähigen Algorithmen sind dem menschlichen Nervensystem nachempfunden. Mit ihnen ist es möglich, unbekannte funktionale Zusammenhänge auch bei geringen Vorkenntnissen zu erfassen, diese abzubilden und zu verarbeiten. Hierbei wird das Netz mit bekannten Daten so lange trainiert, bis die Ergebnisse den bekannten Werten entsprechen. Anschließend wird das trainierte Netz dazu genutzt, Daten mit unbekanntem Einflüssen auszuwerten. Diese Form der Analyse wurde erfolgreich bei Ausfällen von Wischermotoren

aus verschiedenen Regionen der USA mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen eingesetzt.

Im Rahmen eines laufenden DFG-Projektes in Zusammenarbeit mit einem großen Automobilzulieferer werden die oben erwähnten Einsatz- und Nutzungsprofile und die Interaktion mit anderen Komponenten und Abhängigkeiten durch einen mehrparametrischen stochastischen Prozess – wobei die bekannte Systemtransporttheorie durch ein Schadensakkumulationsmodell erweitert wurde – abgebildet und analysiert. Die dabei entstehenden Gleichungssysteme sind jedoch selten geschlossen lösbar, so dass als Simulationsverfahren die Monte-Carlo-Simulation unter Nutzung varianzreduzierender Verfahren – wie erste Untersuchungen zeigen – erfolgreich genutzt werden kann. Nach Abschluss der Untersuchungen dürften erstmalig fundierte Erkenntnisse über den Einfluss stochastischer und deterministischer Größen auf das Ausfallverhalten von elektronischen und mechanischen Komponenten im Auto vorliegen, die dann in einem frühen Stadium der Entwicklung zur Verbesserung der Zuverlässigkeit genutzt werden können. ☉

[www.sitheorie.uni-wuppertal.de](http://www.sitheorie.uni-wuppertal.de)



Prof. Dr.-Ing. Arno Meyna mit (v.l.n.r./l. to r.) Dipl.-Ing. Marco Schlummer, Dr.-Ing. Dirk Althaus, Dipl.-Ing. Andreas Braasch und M.Sc. Fabian Plinke.

## Syntaktische Kategorien: Monographie von Prof. Gisa Rauh erschienen

*Syntactic categories – a monograph by Gisa Rauh*

„Syntactic Categories: Their Identification and Description in Linguistic Theories“ heißt ein in englischer Sprache verfasstes Übersichtswerk der Wuppertaler Linguistin Prof. Dr. Dr.h.c. Gisa Rauh, das beim weltgrößten Universitätsverlag, Oxford University Press, erschienen ist. Das Buch enthält eine systematische Aufarbeitung der Identifikation und Beschreibung syntaktischer Kategorien, der Grundeinheiten der syntaktischen Analyse von Sätzen, und erklärt deren Definition und Position in unterschiedlichen linguistischen Theorien, die skizziert und hinsichtlich ihrer Aussagen zu syntaktischen Kategorien untersucht und kritisch beleuchtet werden.

Prof. Rauh spannt den Bogen von der Grammatik des Dionysios Thrax aus dem ersten Jahrhundert v. Chr. und den darin definierten Wortarten, von denen die syntaktischen Kategorien abgegrenzt werden, über die Grammatik von Port Royal aus dem 17. Jahrhundert sowie über strukturalistische und frühe generative Ansätze bis zu zeitgenössischen linguistischen Theorien wie dem Minimalistischen Programm, der Kognitiven Grammatik, Varianten von Konstruktionsgrammatiken und funktionalen Grammatiken. Am Beispiel der syntaktischen Kategorien wird damit zugleich ein wesentlicher Teil der Geschichte der Sprachwissenschaft nachvollzogen und vertieft diskutiert.

Die 436 Seiten umfassende Monographie wendet vornehmlich an Studierende und Wissenschaftler der Linguistik, aber auch an sprachwissenschaftlich ausgerichtete Vertreter der Computerwissenschaften und der Philosophie. Die gebundene Ausgabe des weltweit vertriebenen Buches kostet 135, die broschurierte 55 US-Dollar.

E-Mail: [rauh@uni-wuppertal.de](mailto:rauh@uni-wuppertal.de)



Prof. Dr. Dr. h.c. Gisa Rauh.

*Syntactic Categories: Their Identification and Description in Linguistic Theories is the title of a book by Prof. Dr. Dr. h. c. Gisa Rauh that was recently issued by the world's biggest university publisher, Oxford University Press. Gisa Rauh, Professor of Linguistics in the English Department at UW, gives a systematic account of how syntactic categories, the basic units of grammatical analysis, are identified and described, and discusses their definition and status in various linguistic theories. These theories are outlined and their claims about syntactic categories are subjected to critical examination.*

*Prof. Rauh traces the development of grammatical description, beginning with the grammar of Dionysius Thrax (first century BCE) and the parts of speech it defines, and distinguishing these from syntactic categories. Following a consideration of the grammar of Port Royal in the 17th century, she turns via the structuralists and the approaches of early generative grammar to contemporary linguistic theories such as the Minimalist Program, Cognitive Grammar, and different models of Construction Grammar and Functional Grammar. In her treatment of syntactic categories Prof. Rauh presents and discusses in detail a large part of the history of linguistics. The 436-page book is intended primarily for students and scholars of linguistics but is also of relevance for computer scientists and philosophers with an interest in linguistics. Distributed worldwide, the book sells for \$135 (hardback) and \$55 (paperback).*

## Titandioxid baut Autoabgase ab: Straßenbeläge als Katalysatoren

*Titanium dioxide to degrade exhaust gases: road surfaces as catalytic converters*

Ein europäisches Forschungsprojekt unter Beteiligung der Bergischen Universität soll die Wirksamkeit so genannter photokatalytischer Oberflächen auf die Reduktion von Luft-Schadstoffen, vor allem Autoabgasen, demonstrieren. Dabei wird z.B. Straßenbelägen, Wandfarben in Tunneln oder Bedachungen an stark befahrenen Straßen ein Stoff beigefügt, der mit Hilfe von Sonnenlicht schädliche Schadstoffe chemisch abbauen kann. Im Prinzip wird dabei derselbe Stoff wie in Sonnencremes verwendet – Titandioxid. Titandioxid kann bei Einstrahlung von ultraviolettem Licht chemische Reaktionen beschleunigen, also als Katalysator eingesetzt werden und dafür sorgen, dass die Luft sauberer wird. Das spektakuläre Projekt läuft über vier Jahre mit einem Gesamtbudget von ca. 4 Millionen Euro. Daran hat die Bergische Universität einen Anteil von knapp 500.000 Euro.

Im Projekt PhotoPaq (Demonstration of Photocatalytic Remediation Processes on Air Quality) geht es vorrangig um die Reduktion von Schadstoffen wie Stickstoffdioxid, Kohlenwasserstoffe (z.B. krebserregendes Benzol) sowie von Feinstaub. Dazu werden in zwei Städten ein Tunnel und eine Straße mit dem Photokatalysator ausgestattet. Beteiligt sind sieben Forschergruppen aus Frankreich, Belgien, Griechenland und Deutschland sowie ein italienisch/französisches Industrieunternehmen. Der erste Feldversuch in einem Brüsseler Tunnel ist für 2011 geplant. Projektverantwortlicher im Fach Physikalische Chemie ist Privatdozent Dr. Jörg Kleffmann.

*UW is participating in a European research project that aims to demonstrate the effect of photocatalytic surfaces on the reduction of atmospheric pollutants, especially automobile exhaust gases. This involves adding an agent to road surfaces, the coatings on tunnel walls, and roofing materials on roads carrying heavy traffic, that chemically degrades harmful gases when exposed to sunlight – in principle the same agent as that used in sunscreen, titanium oxide. Under ultraviolet light this acts as a catalyst speeding up chemical reactions, an effect that can be exploited to keep the air cleaner. The spectacular four-year project has an overall budget of €4m, with UW receiving almost €500,000.*

*The PhotoPaq (Demonstration of Photocatalytic Remediation Processes on Air Quality) project addresses the reduction of pollutants such as nitrogen dioxide, hydrocarbons (e.g. the carcinogenic substance benzol) and particulates. In two different European cities a tunnel and a road have been treated with the photocatalytic additive. Seven research groups – from France, Belgium, Greece and Germany – as well as an Italian-French industrial corporation are taking part in the project. The first field test in a road tunnel in Brussels is scheduled for 2011. Responsible for the project at UW's Department of Physical Chemistry is the research fellow Dr. Jörg Kleffmann.*

E-Mail: [kleffman@uni-wuppertal.de](mailto:kleffman@uni-wuppertal.de), [wiesen@uni-wuppertal.de](mailto:wiesen@uni-wuppertal.de)



Das Gegenschallsystem „WaveFieldController“ von WaveScape Technologies wird im akustischen Messraum der Bergischen Universität in Betrieb genommen.

*The noise-countering system WaveFieldController from WaveScape Technologies undergoing tests in UW's acoustic lab.*

## Aktiv gegen Lärm – Uni auf der Hannover Messe

*Action against noise – UW at the Hanover Trade Fair*

Neue Entwicklungen zum aktiven Lärmschutz präsentierten die Bergische Universität und das Wuppertaler Start-Up Unternehmen WaveScape Technologies auf der Hannover Messe 2010. Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahe (Fachgebiet Audiosignalverarbeitung und Nachrichtentechnik): „Durch den Einsatz von Mikroelektronik hat die Technik des aktiven Lärmschutzes wesentliche Fortschritte gemacht und stellt immer häufiger eine effiziente Alternative zu passiven Lärmreduzierungsmaßnahmen dar.“ Grundlagen für diese Technik erforscht eine Arbeitsgruppe unter Leitung von Prof. Krahe, der auf der CeBIT 2002 erstmals sein elektronisches Antischall-Konzept („Active Noise Control“) präsentierte.

Beim „Active Noise Control“ wird eine örtlich begrenzte Geräuschquelle mit Mikrofonen versehen, die den Schall aufnehmen und an einen Computer weitergeben. Durch eine spezielle Software analysiert der Computer den Lärm und wirft ihn auf die Geräuschquelle zurück, d. h. er erzeugt Gegenschall. Die Folge: der zurückgeworfene Lärm dämpft die ursprüngliche Lärmquelle in ihrer Intensität und das menschliche Ohr nimmt das Störgeräusch in viel geringerer Intensität wahr. Selbst bei Störquellen wie Straßen-, Schienen- oder Fluglärm kann das Verfahren angewendet werden und für Anwohner, Passanten und Passagiere eine offensichtliche Lärmreduzierung bedeuten.

*New developments in active noise control were presented by UW's Department of Audio Signal Processing and Communications Technology, in conjunction with the Wuppertal start-up company WaveScape, at the Hanover Trade Fair 2010. Leading the research team, Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahe commented: "Microelectronics has fostered major progress in active noise control and often presents an efficient alternative to passive noise reduction measures." The team first presented its electronic active noise control concept at Hanover's CeBIT Fair in 2002.*

*Active noise control involves the transfer of a localized sound source, picked up by microphones, to a computer. Specially developed software enables the computer to analyze the sounds and generate counter-sound that is then directed back at the original source. This reduces the intensity of the initial noise and its impact on human hearing. The process can be applied to traffic noise from cars, trains or airplanes and has been proven effective for passengers and local residents as well as passers-by.*

[www.dasp.uni-wuppertal.de](http://www.dasp.uni-wuppertal.de)

## Energieeffizientester Supercomputer der Welt steht in Wuppertal und Jülich

*Wuppertal/Jülich house world's most energy-efficient supercomputer*

Der in Wuppertal und Jülich stehende Hochleistungsrechner QPACE (QCD Parallel Computing on the Cell) ist als energie-effizientester Supercomputer der Welt ausgezeichnet worden. QPACE führt damit die Green500-Liste an, weltweite Rangliste der energieeffizientesten Hochleistungsrechner. Entwickelt wurde QPACE von einem Konsortium aus Universitäten und Forschungszentren sowie dem deutschen IBM Forschungs- und Entwicklungszentrum. Innerhalb des Konsortiums haben unter Führung der Universität Regensburg die Forschungszentren DESY und Jülich zentrale Aufgaben übernommen. Weitere Mitglieder waren die Bergische Universität Wuppertal, die Universität Ferrara (Italien), die Universität Milano-Bicocca (Italien) sowie die Firmen Eurotech, Knürr, Zollner und Xilinx. Das QPACE-Kernteam besteht aus etwa 20 Forschern und Entwicklern.

QPACE war Mitte 2009 mit jeweils vier „Racks“ am Forschungszentrum Jülich und an der Bergischen Universität in Betrieb genommen worden und wird für die Simulation fundamentaler Naturkräfte in der Elementarteilchenphysik eingesetzt, insbesondere für Simulationen im Forschungsbereich der Quantenchromodynamik (QCD). Die QCD beschreibt zum Beispiel, wie sich ein Proton aus Quarks und Gluonen aufbaut. Genutzt wird QPACE von Forschern des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs/Transregio 55 „Hadronenphysik mit Gitter-QCD“ in Regensburg und Wuppertal. Der Leiter des Jülich Supercomputing Center, Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert, lehrt zugleich computergestützte Theoretische Teilchenphysik an der Bergischen Universität. Die Kosten für QPACE von ca. 3 Millionen Euro werden von der DFG sowie von den Bundesländern Bayern und NRW getragen.

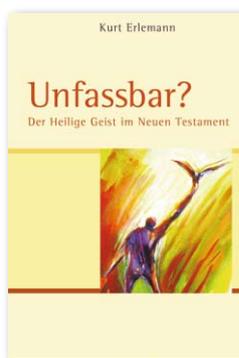
*UW and Jülich Research Center's QPACE (QCD Parallel Computing on the Cell) supercomputer has been rated number one on the Green500 List of the world's most energy-efficient high-performance computers. QPACE was developed by a consortium of universities and research centers in collaboration with IBM-Germany's R&D team. The consortium, led by the University of Regensburg, the Jülich Research Center, and the German Electron Synchrotron Research Center (DESY) in Hamburg, includes UW, the universities of Ferrara and Milano-Bicocca (Italy), and the companies Eurotech, Knürr, Zollner and Xilinx. The QPACE team comprises some 20 R&D scientists and engineers.*

*Simulating fundamental natural forces in elementary particle physics, QPACE went on stream with 4 racks in mid 2008 at the UW and Jülich Research Centers. The computer is used by scientists from the German Research Foundation's (DFG) Collaborative Research Center at the universities of Regensburg and Wuppertal in their Transregio 55 quantum chromodynamics (QCD) project entitled "Hadron Physics with Lattice QCD", which describes e.g. how a proton is composed of quarks and gluons. Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert, Director of Jülich's Supercomputing Center, teaches computer-supported particle physics at UW. The €3m costs for QPACE were met by the DFG together with the states of NRW and Bavaria.*

## „Unfassbar“? Ein Buch über den Heiligen Geist

*Intangible? A book about the Holy Spirit*

Unter dem Titel „Unfassbar“ hat der evangelische Theologe Prof. Dr. Kurt Erlemann ein Buch über den Heiligen Geist vorgelegt. In verständlicher Sprache führt er damit in die Vorstellungen des Neuen Testaments vom Heiligen Geist ein. Der Heilige Geist führe in der Fachliteratur eher ein Schattendasein, seine Bedeutung für das kirchliche Leben sei weithin verloren gegangen, die Rede vom Heiligen Geist oftmals zu Leerformeln erstarrt, heißt es in der Verlagsankündigung des Neukirchener Verlages. Deshalb verdiene der Heilige Geist eine intensivere Betrachtung.



Der Autor, Professor für Neues Testament und Geschichte der Alten Kirche an der Bergischen Universität, hat gemeinsam mit Lehramtsstudierenden der Evangelischen Theologie ein „Kaleidoskop“ an neutestamentlichen Vorstellungen vom Heiligen Geist erarbeitet. Gemeinsam mit dem Vorgängerband „Wer ist Gott? Antworten des Neuen Testaments“ soll das Buch Hilfe für die theologische Arbeit in Studium und Gemeinde sein. Für 2011 kündigt Prof. Erlemann einen dritten Band zum Thema „Jesus“ an, der die Reihe – Gott, Jesus, Heiliger Geist – abschließt: Ist der christliche Gott einzigartig? Müssen wir mit dem Bösen leben? Ist mit Gott noch zu rechnen? Gibt es ein Endgericht? Wozu ist Beten gut? Fragen, die Menschen heute und das Neue Testament gleichermaßen stellen. Prof. Erlemann greift sie auf, indem er Facetten des Gottesbildes im Neuen Testament sprachlich sichtbar, reflektiert und nach möglichen Konsequenzen für die Glaubenspraxis befragt.

*Kurt Erlemann, professor of Protestant theology at UW, has published a book on the Holy Spirit (or 'Holy Ghost'). Entitled Unfassbar (intangible) it introduces the reader in readily understandable terms to New Testament conceptions of the Spirit. According to the publisher, Neukirchener Verlag, the book was motivated by the paucity of specialist literature on the subject, and its loss of meaning for the practical life of the church, where mention of the Holy Spirit has been largely reduced to an empty formula. Author and publisher judged the subject to be worthy of more intense consideration.*

*Working with students of Protestant theology for school teaching, the author, Professor of New Testament Theology and History of the Early Church at UW, has compiled a kaleidoscope of New Testament concepts of the Holy Spirit. Like his previous volume "Who is God? New Testament Answers", this book is intended for theological students, as well as for work in the parish community. A third volume, "Jesus" is due in 2011. Together the three books address questions posed not only by the New Testament but also by people today: Is the Christian God unique? Must we live with evil? Can we still count on God? Is there a Last Judgment? What's the point of prayer? Analyzing and reflecting on the language of the New Testament, Prof. Erlemann inquires about the image of God expressed in its pages, and the relevance of that image to the life of the Christian community.*

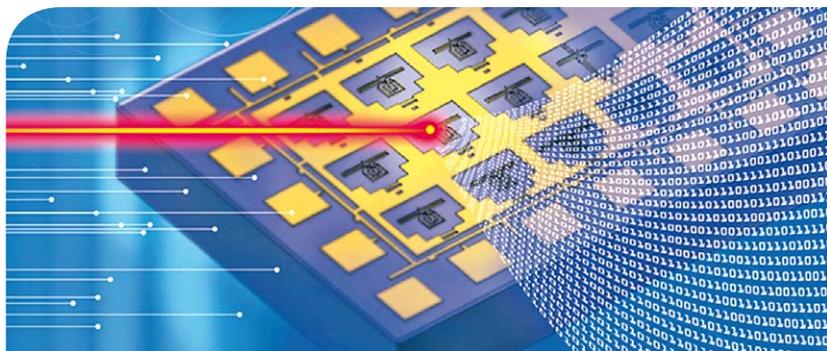
[www.nvg-medien.de](http://www.nvg-medien.de)

## Forschung an der oberen Frequenzskala: Durchbruch in San Francisco

*Research at the top end of the frequency range:  
breakthrough in San Francisco*

Auf einer internationalen Konferenz in San Francisco hat eine Wuppertaler Forschergruppe unter Leitung von Prof. Dr. Ullrich Pfeiffer, Fachgebiet Hochfrequenzsysteme in der Kommunikationstechnik, zukunftsweisende Ergebnisse zur Entwicklung kostengünstiger, kompakter und effizienter Transistortechnologien im Terahertzbereich präsentiert. Die Wuppertaler Arbeiten sind Teil des EU-Projekts DOTFIVE, in dem 14 europäische Universitäten und Unternehmen zusammenarbeiten. Von der EU fließen für DOTFIVE über 360.000 Euro nach Wuppertal.

Forschungen im Terahertzbereich haben für moderne Informationstechnologien (Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung, Radaranwendungen im Automotive-Bereich) große Bedeutung. Die Terahertzstrahlung liegt mit Wellenlängen kleiner als 1 Millimeter und größer als 0,1 Millimeter im elektromagnetischen Spektrum zwischen Radar- und Infrarotstrahlung. Von der bisher noch wenig erforschten Terahertzstrahlung erhoffen sich Wissenschaft und Industrie viele neue Anwendungsmöglichkeiten, vor allem weil die Strahlung aus medizinischer Sicht unschädlich ist. In San Francisco konnten die Wuppertaler Forscher einen Durchbruch vorstellen, nämlich die Realisierbarkeit der Anwendungen auf Chip-Ebene. In Wuppertal wurden ein 160 Gigahertz-Sende- und Empfangsmodul sowie ein 650 Gigahertz-Empfänger mit integrierter Antenne in Silizium/Germanium-Heterojunction-Bipolartechnologie, einer speziellen Fertigungstechnologie für schnellschaltende Transistoren, für die Terahertz-Bildgebung entwickelt und erfolgreich getestet.



Prototyp eines 3x5 Pixel Silizium Kamera-Chips, wie er von Prof. Pfeiffer und seinem Team entwickelt wurde. Siliziumtechnologien haben eine präzise Prozesskontrolle und gleichbleibende Qualität, die für hochauflösende Kamerachips von besonderer Bedeutung sind.

*Prototype of a 3x5 pixel silicon camera chip developed by Prof. Pfeiffer and his team. Silicon technologies undergo precise process controls providing constant quality, an important factor in high resolution camera chips.*

*At an international conference in San Francisco a UW high-frequency systems research group from the Department of Communication Technology, led by Prof. Dr. Ullrich Pfeiffer, presented a significant technological breakthrough in the development of compact, efficient and inexpensive transistors in the terahertz range. The UW research is part of the EU's DOTFIVE project, in which 14 universities and corporations are cooperating. UW's share of funding amounts to more than €360,000.*

*High-frequency research in the terahertz range is crucial for modern IT systems (e.g. high speed data communication, radar applications in the automotive sector). Terahertz wavelengths (from more than 0.1 mm to less than 1 mm) occupy the area in the electromagnetic spectrum between radar and infrared radiation. Hitherto little researched, this frequency range promises a wealth of new applications for science and industry, above all because the radiation is, from a medical point of view, harmless. In San Francisco UW researchers presented a breakthrough in the form of a new terahertz frequency chip. Using silicon/germanium hetero-junction bipolar technology – a special manufacturing method for superfast terahertz imaging transistors – UW engineers successfully developed and tested a 160 gigahertz transmitter-receiver module as well as a 650 gigahertz receiver with integrated antenna.*

[www.ihct.uni-wuppertal.de](http://www.ihct.uni-wuppertal.de)

## Physiker Prof. Christian Zeitnitz managt Millionen-Projekt bei DESY

*UW physicist Christian Zeitnitz to manage  
€25m project at DESY*

Prof. Dr. Christian Zeitnitz, Wuppertaler Physiker, ist wissenschaftlicher Manager der Helmholtz-Allianz „Physik an der Teraskala“, ein 25-Millionen-Euro-Projekt, das unter Federführung des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY betrieben wird. In dieser Allianz von 18 Universitäten, dem Max-Planck-Institut für Physik, München, und den beiden Helmholtzzentren DESY (Hamburg) und KIT (ehemals Forschungszentrum Karlsruhe) hat Prof. Zeitnitz das wissenschaftliche Management für die nächsten zweieinhalb Jahre übernommen.

Die Allianz unterstützt die Erforschung der elementaren Bestandteile der Natur. Dazu werden Kollisionen von Teilchen bei Energien von „Teraelektronenvolt“ auf kleinstem Raum untersucht, wobei Bedingungen herrschen wie sehr kurz nach dem Urknall. Ende 2009 war der weltweit einmalige Teilchenbeschleuniger, der Large-Hadron-Collider (LHC) am CERN (Genf), wieder in Betrieb gegangen. Die Mitglieder der Allianz werden in den nächsten Jahren maßgeblich zur Analyse der experimentellen Daten beitragen. Weitere Allianzprojekte umfassen die Entwicklung von Teilchendetektoren, Beschleuniger und GRID-Computing. Die Teilchenphysik an der Bergischen Universität erhält aus den Mitteln der Allianz zwei Millionen Euro. Die Wuppertaler Physiker Prof. Dr. Robert Harlander, Prof. Dr. Peter Mättig, Prof. Dr. Günter Müller, Prof. Dr. Wolfgang Wagner und Prof. Dr. Zeitnitz sind sowohl am LHC-Beschleuniger als auch am geplanten „Internationalen Linearcollider“ (ILC) beteiligt.

*Prof. Dr. Christian Zeitnitz has been appointed scientific manager for the next two-and-a-half years of the Helmholtz Alliance's €25m project "Physics at the Terascale", led by the German Electron Synchrotron Research Center (DESY) in Hamburg. The project involves 18 universities, along with the Max Planck Institute of Physics in Munich and the two Helmholtz Centers, DESY and KIT (Karlsruhe Institute of Technology).*

*The Alliance project is devoted to understanding the elementary building blocks of Nature. This involves particle collisions at energies of tera-electron volts in ultra-small space, under conditions similar to those immediately after the Big Bang. Alliance members are set to analyze experimental data from CERN's Large Hadron Collider (LHC), which restarted in Geneva at the end of 2009. Further projects focus on the development of particle detectors, accelerators and GRID computing. UW's particle physicists – Prof. Dr. Robert Harlander, Prof. Dr. Peter Mättig, Prof. Dr. Günter Müller, Prof. Dr. Wolfgang Wagner and Prof. Dr. Christian Zeitnitz – have received €2m from the Alliance to fund their work not only at LHC but also on the planned international linear collider (ILC).*

E-Mail: [zeitnitz@physik.uni-wuppertal.de](mailto:zeitnitz@physik.uni-wuppertal.de)

Die russische GEOPHYSICA  
beim Start im nordschwedi-  
schen Kiruna...

*The Russian high altitude  
plane GEOPHYSICA taking  
off from Kiruna in North  
Sweden.*



## Wuppertaler Atmosphärenphysiker zur Polarforschung in Nordschweden

*UW atmospheric physicists on polar research project in North Sweden*

Der Abbau von Ozon in der arktischen Stratosphäre steht angesichts des drohenden Klimawandels nach wie vor im Fokus der Forschung. Wuppertaler Atmosphärenphysiker gehen in einer großen Messkampagne der Frage nach, welchen Einfluss der Klimawandel auf die Erholung der Ozonschicht hat. Mit zwei Messgeräten auf dem russischen Höhenforschungsflugzeug Geophysica untersuchen sie Verteilung und Austausch von Spurenstoffen innerhalb und außerhalb des polaren Wirbels, die für den Abbau von Ozon verantwortlich sind. Im nordschwedischen Kiruna startete die Geophysica mit den Wuppertaler Instrumenten zum Erkundungsflug. Die internationale Messkampagne (Reconciliation of Essential Process Parameters for an Enhanced Predictability of Arctic Stratospheric Ozone Loss and its Climate Interactions RECONCILE) wird von 9 Ländern durchgeführt und von der EU gefördert.

Ziel der Messkampagne ist die Untersuchung der arktischen Stratosphäre im winterlichen Polarwirbel. Die Wissenschaftler wollen die Schlüsselprozesse besser verstehen und Chemie, Mikrophysik und Dynamik des arktischen Ozonverlustes bestimmen. Die Arbeitsgruppe Atmosphärenphysik der Bergischen Universität unter Leitung von Prof. Dr. Ralf Koppmann war mit den Messgeräten CRISTA-NF und HAGAR beteiligt. Neben dem Betrieb der beiden Messinstrumente ist die Arbeitsgruppe Atmosphärenphysik federführend am Arbeitspaket „Dynamik und Mischung“ beteiligt. Dort werden mathematische Verfahren entwickelt, um die beobachteten Daten speziell im Hinblick auf die Untersuchung von Transportprozessen zu interpretieren.

*The continuing threat of climate change makes the loss of ozone in the arctic stratosphere a prime focus of atmospheric research. UW's atmospheric physicists are engaged in a major international campaign measuring the influence of climatic change on the rehabilitation of the ozone layer. Two instruments on board the Russian high altitude plane 'Geophysica' are monitoring the distribution and interaction of trace elements responsible for the decomposition of ozone both within and outside the polar vortex. The 'Geophysica' with the UW instruments on board is based at Kiruna in North Sweden. Nine countries are collaborating in the project, entitled 'Reconciliation of Essential Process Parameters for an Enhanced Predictability of Arctic Stratospheric Ozone Loss and its Climate Interactions' (RECONCILE). The project is funded by the EU.*

*In order to gain a better understanding of the processes determining ozone loss, RECONCILE is investigating the chemistry, microphysics and dynamics of the arctic stratosphere in the winter polar vortex. As well as developing and operating the two measuring devices, CRISTA-NF and HAGAR, UW's atmospheric physics working group led by Prof. Dr. Ralf Koppmann is responsible for the 'Dynamics and Mixing' section of the project, for which special mathematical models for the interpretation of chemical transportation processes have been developed.*

[www.atmos.physik.uni-wuppertal.de](http://www.atmos.physik.uni-wuppertal.de)



Dezember 2009: Das Infrarot-Spektrometer CRISTA-NF (im Hintergrund) wird zum Transport nach Kiruna vorbereitet (v.l.n.r.): Dipl.-Phys. Christoph Kalicinsky, Prof. Dr. Ralf Koppmann, Hans-Peter Heuser, Dipl.-Phys. Friedhelm Olschewski.

*December 2009: the infrared spectrometer CRISTA-NF (in background) is prepared for transportation to Kiruna. (L. to r.) Dipl. Phys. Christoph Kalicinsky, Prof. Dr. Ralf Koppmann, Hans-Peter Heuser, Dipl. Phys. Friedhelm Olschewski.*



## Der W-Faktor / *The W-factor*



von / by

Prof. Dr. Uwe Schneidewind

*Präsident und wissenschaftlicher Geschäftsführer des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie und Professor für Innovationsmanagement und Nachhaltigkeit an der Bergischen Universität*

[uwe.schneidewind@wupperinst.org](mailto:uwe.schneidewind@wupperinst.org)

**W**uppertal ist „in Transition“ – im Wandel zu Modellen einer neuen ökonomischen, sozialen und ökologischen Entwicklung. Seine Wissenschaftseinrichtungen, besonders die Bergische Universität und das Wuppertal Institut, spielen dabei eine zentrale Rolle. Sie geben national wie international wichtige Impulse, beispielsweise in der Mobilitätsforschung. Gleichzeitig machen sie die Region attraktiv für Studierende sowie Forscherinnen und Forscher. Damit wird der Grundstein für hoch qualifiziertes Personal für bestehende sowie für neu zu gründende Unternehmen gelegt: Promotoren einer nachhaltigen, d.h. wirtschaftlich, sozial und ökologisch verträglichen Entwicklung.

**W**uppertal is in transition, modeled by and modeling new economic, social, and ecological developments. Its knowledge base, in particular the University and the Wuppertal Institute, play a central role in this process, providing key impulses in both national and international research, for instance in the field of mobility. This makes the region attractive for students, scientists and scholars alike, and lays the foundation for the highly qualified personnel required by existing enterprises as well as new start-ups.

*The promotion of economically, socially, and ecologically sustainable development hinges on the interface*

Das geht nicht ohne den Brückenschlag von der Grundlagen- zur Anwendungsforschung sowie die enge Kooperation der Disziplinen – von den Natur- und Ingenieurwissenschaften bis zu den Wirtschafts-, Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften. Genau diese Form „Transdisziplinärer Wissenschaft“ ist essentiell für den Wandel zu einer nachhaltigen Entwicklung. In mehreren großen Forschungsanträgen und -vorhaben arbeiten deshalb die Bergische Universität und das Wuppertal Institut eng zusammen und machen den „W-Faktor“ zu einer zunehmend attraktiven Marke.

[www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

*between fundamental and applied research, and on close collaboration between the academic disciplines, from the natural sciences through engineering and economics to the social and educational sciences and the humanities. Only a transdisciplinary quest for knowledge can pave the way to sustainable development for our societies. Driven by this goal, UW and the Wuppertal Institute are working together on a number of major research projects, and have submitted funding applications for several more. The ‘W-factor’ is promising to become an increasingly attractive brand.*

[www.wupperinst.org/en](http://www.wupperinst.org/en)



# AWG WUPPERTAL

awg@awg.wuppertal.de  
www.awg.wuppertal.de



# IHR UNI-PARTNER

Im Rahmen der guten Zusammenarbeit mit der Bergischen Universität Wuppertal, speziell im Fachbereich Sicherheitstechnik / Umweltschutz, betreuen und unterstützen wir Studierende durch die Vergabe von Praktika. Bei der Erstellung ihrer Abschluss- und Studienarbeiten helfen wir mit Know-how und Themen aus der Praxis.

Arbeiten Sie während Ihres Studiums gemeinsam mit uns an interessanten Projekten in den Bereichen:

- Umweltschutz
- Arbeitsschutz
- Explosionsschutz
- Managementsysteme



Abfallwirtschafts-  
gesellschaft mbH  
Wuppertal

ABFALLMANAGEMENT  
AUTORECYCLING  
CONTAINERSERVICE  
MÜLLABFUHR  
■ MÜLLHEIZKRAFTWERK  
PAPIERSAMMLUNG  
RECYCLINGHÖFE  
SCHADSTOFFSAMMLUNG

umweltgerecht®  
Keiner wie wir.