

# 15 Jahre FORSCHUNGS FORUM PADERBORN



UNIVERSITÄT PADERBORN  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

15-2012

**Jubiläumsausgabe**  
Mit Übersicht aller  
173 veröffentlichten Forschungsthemen



PADERBORNER WISSENSCHAFTSMAGAZIN

- **Forschung für unsere Gesundheit**
- **Wieder natürlich gehen und greifen**
- **Kreuzbandverletzung im Gehirn sichtbar**
- **Diagnose Plaque in Herzkranzgefäßen**
- **Jung ist gut – ist älter besser?**
- **Gesundheitsrisiken durch Antibiotika**

## IMPRESSUM

Herausgeber  
Prof. Dr. Nikolaus Risch  
Präsident der Universität Paderborn

Konzeption und Redaktion  
Ramona Wiesner  
Leiterin des Referats Hochschulmarketing  
und Universitätszeitschrift  
Warburger Str. 100, 33098 Paderborn  
05251 60-2553, -3880  
wiesner@zv.uni-paderborn.de  
www.uni-paderborn.de/hochschulmarketing

ForschungsForum Paderborn (ffp) im Internet  
www.uni-paderborn.de/ffp

Wissenschaftlicher Beirat  
Prof. Dr. techn. Gitta Domik  
Prof. Dr. rer. nat. Sybille Hellebrand  
Prof. Dr. Hermann Kamp  
Prof. Dr. Dennis Kundisch  
Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Schuhmann  
Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner

Drucklegung  
Januar 2012

Grafik-Design  
PADA-Werbeagentur  
Heierswall 2  
33098 Paderborn  
05251 527577

Auflage  
5 000

ISSN (Print) 1435-3709

## Titel



Foto: Nadija Pejic, Institut für Informatik

Die intelligente mikroprozessorgesteuerte Beinprothese bewirkt ein natürliches Gangbild. Die Arbeitsgruppe um Prof. Marco Platzner aus dem Institut für Informatik war an der Entwicklung eines Prothesenprototypen mit einem adaptiven Schaft und speziell an die Amputationsart abgestimmten

Gelenken beteiligt. Im Gegensatz zu üblichen, starren Ausführungen ist der Schaft über strukturintegrierte piezokeramische Aktuatoren verformbar. Dadurch wird er automatisch an die jeweilige Situation angepasst und ermöglicht so immer einen optimalen Sitz der Prothese und einen natürlichen Gang. Mehr über intelligente Prothesensteuerung lesen Sie ab Seite 6.

## Editorial

## 15 Jahre FORSCHUNGS FORUM PADERBORN

Themenübersicht  
Ausgaben 1 bis 15, ab Seite 58



Ramona Wiesner  
Leiterin des Referats Hochschulmarketing und Universitätszeitschrift

Liebe Leserinnen und Leser,

„Hauptsache gesund“, sagen wir oft. Damit Menschen schnell wieder gesund werden oder gesund bleiben, setzen die Forscher unserer Universität viele wichtige Impulse. In diesem Heft stellen wir Ihnen einige vielversprechende Projekte vor. Ab Seite 6 berichten wir über intelligente Prothesensteuerungen. Die Arbeitsgruppe Technische Informatik entwickelt innovative mikroprozessorgesteuerte Arm- und Beinprothesen, die sich dank moderner Methoden der Informatik intuitiver bewegen lassen. Amputierte dürfen so hoffen, dass sie zukünftig mehr Bewegungsmöglichkeiten und höhere Sicherheit genießen.

Hoffnung für Herzkrankte weckt eine neue Art der Visualisierung von CT-Datensätzen der Koronargefäße. Sie nutzt neue Algorithmen und erleichtert damit die Diagnose der Ärzte erheblich. Denn die Methode erlaubt es, die Struktur und Form der Arterienwand dreidimensional wahrzunehmen. So lassen sich gefährliche Plaques frühzeitig erkennen und das Herzinfarktrisiko deutlich senken. Lesen Sie ab Seite 26, wie Professor Gitta Domik die Forschung an der so genannten Curved Planar Reformation vorantreibt.

Im Fokus der Arbeitsgruppe „Exercise & Brain“ des Sportmedizinischen Instituts stehen Kreuzbandverletzungen. Nach neuesten Erkenntnissen der Paderborner spielt die Interaktion von Gehirn und Muskeln in der Rehabilitation eine herausragende Rolle. Entsprechend wichtig sind sensomotorische Trainings. Ab Seite 52 erfahren Sie, wie das neue Verständnis der Sensomotorik einen erfolgreichen Therapieverlauf unterstützt.

Eine erfolgreiche Therapie bei Infektionen, die von resistenten Keimen verursacht werden, ist dagegen schwierig. Professor Manfred Grote konnte mit seinen Rückstandsanalysen in Nutzpflanzen und Lebensmitteln nachweisen, dass gerade der Einsatz von Veterinärantibiotika in der Landwirtschaft diese Resistenzbildung verursacht. Ab Seite 18 beleuchtet er die Dringlichkeit der Resistenzprävention, um die Gesundheit der Verbraucher zu schützen.

Um das Thema Klimaschutz dreht sich der Beitrag ab Seite 30. Die Fakultät für Maschinenbau entwickelt innovative ganzheitliche Leichtbauansätze für Automobile. Denn durch die Verringerung des Fahrzeuggewichtes lässt sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nachhaltig senken. Die Forscher um Professor Thomas Tröster betonen dabei die Bedeutung belastungsangepasster Bauteile, die mit verschiedenen Technologien hergestellt werden.

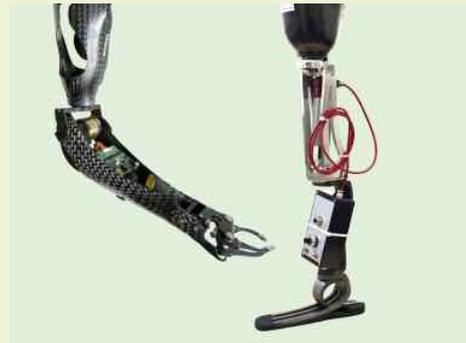
Eine interessante Lektüre wünscht  
Ihre Ramona Wiesner

Seite 6

**Wieder natürlich gehen und greifen**

Intelligente Prothesensteuerungen  
durch Mustererkennung

**Prof. Dr. Marco Platzner, Dipl.-Inf. Alexander Boschmann,  
Dipl.-Inf., Dipl.-Math. Paul Kaufmann**



Seite 12

**Altes Eisen?**

Ökonomische Altersforschung  
am Beispiel der Landesarbeitsgerichte

**Prof. Dr. Martin Schneider und Prof. Dr. Uschi Backes-Gellner**



Seite 18

**Verbraucherrisiken durch  
Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft?**

Forschung im Rahmen der  
Deutschen Antibiotika-Resistenzstrategie (DART)

**Prof. Dr. Manfred Grote, Dr. Didem Hanim Meriç, Dr. Henning Stevens,  
Staatl. gepr. LM-Chem. Farzana Chowdhury, M. Sc. Inga Michels**



Seite 26

**Früherkennung von Plaque in den Koronargefäßen**

Räumliche Wahrnehmung bei der  
Untersuchung von Koronararterien in CT-Datensätzen

**Prof. Dr. Gitta Domik, Dipl.-Inf. Stephan Arens**

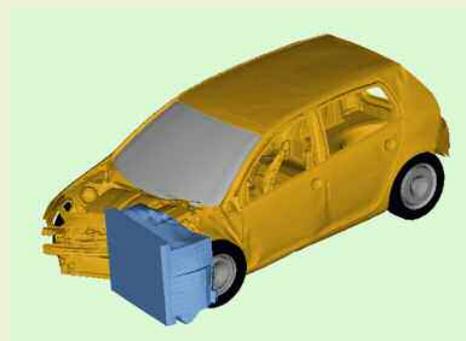


Seite 30

**Automobileichtbau mit  
innovativen Werkstoffen und Prozessen**

Kraftstoffverbrauch senken und die Umwelt schonen

**Prof. Dr. Thomas Tröster, Dipl.-Ing. Thorsten Marten,  
Dipl.-Wirt.-Ing. Dieter Thomas, Dipl.-Ing. Holger Block,  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Lauter  
und Dipl.-Ing. Markus Thöne**



Seite 40

**Gesund und erfolgreich  
in Paderborn studieren (GriPs)**

Analyse studentischer Lebensstile

**Prof. Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck,  
Dr. Astrid Kämpfe, Dipl.-Sportwiss. Carolin Köster**



Seite 48

**Automatismen – Strukturentstehung  
außerhalb geplanter Prozesse**

Paderborner Graduiertenkolleg  
zwischen Kulturwissenschaft und Informatik

**Prof. Dr. Hannelore Bublitz, Prof. Dr. Hartmut Winkler**



Seite 52

**Die Rolle des Gehirns  
nach Kreuzbandverletzungen**

Ansatz für innovative Präventions-  
und Rehabilitationsprogramme

**Dr. rer. medic. Jochen Baumeister**



Seite 58

**15 Jahre ForschungsForum Paderborn**

Themenübersicht Ausgaben 1 bis 15



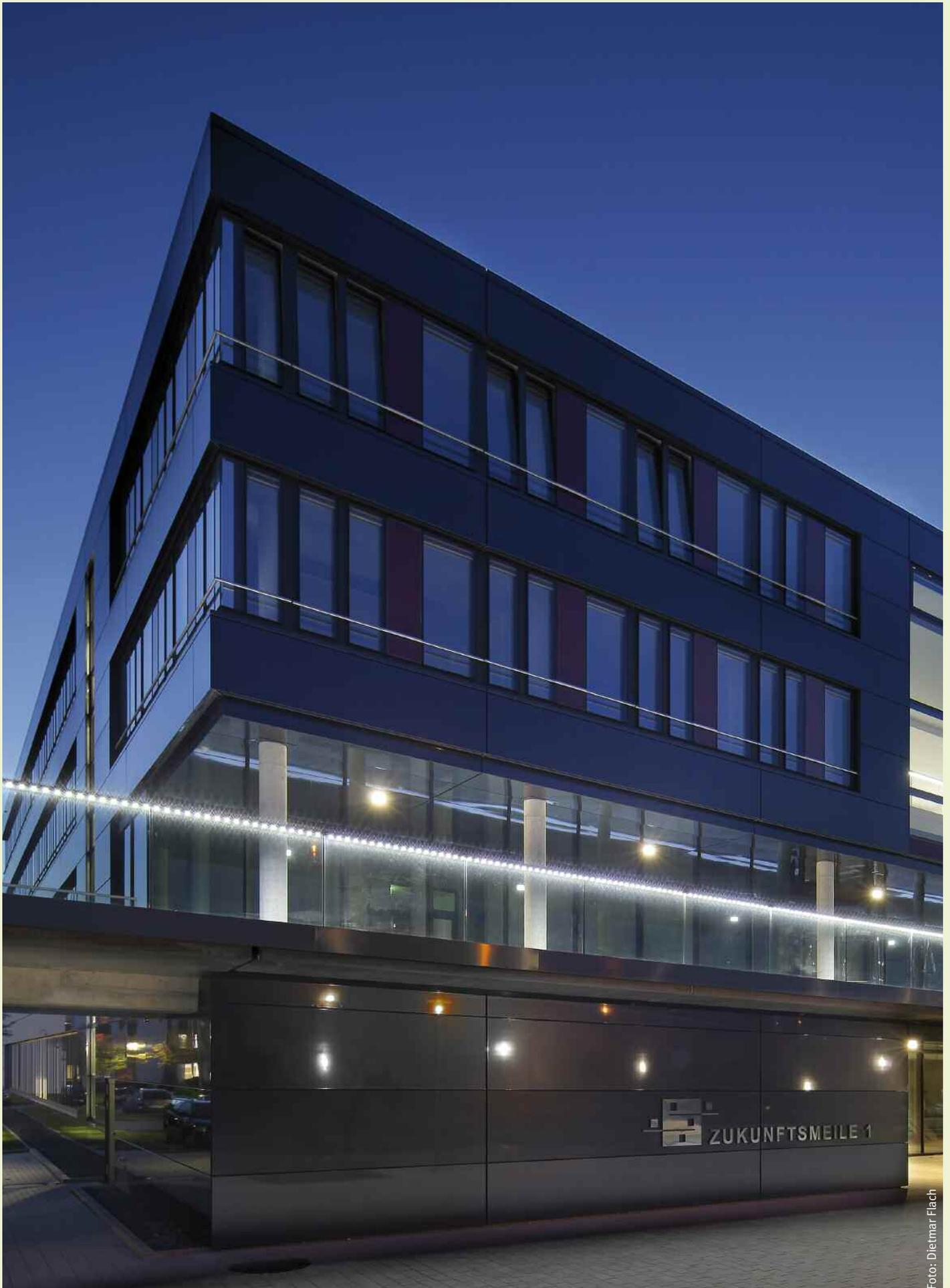


Foto: Dietmar Flach



Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer

## Vorwort

*Liebe Leserinnen und Leser,*

*das Wissenschaftsjahr 2011 beschäftigte sich mit einem Thema, das uns alle angeht: „Forschung für unsere Gesundheit“. Es sollte dazu ermutigen, Ziele, Herausforderungen und Aktionsfelder moderner Gesundheitsforschung gemeinsam mit der Öffentlichkeit zu diskutieren und Visionen zu entwickeln.*

*Gesundheit ist nicht allein das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen, sondern das Gefühl von körperlichem, geistigem und sozialem Wohlbefinden. Manche Fragen begleiten uns ein Leben lang und sind oft elementar: Warum werden Menschen krank und wie werden sie wieder gesund? Diese Fragen nach dem Krank-Werden und Gesund-Machen formulieren sich mit zunehmendem Alter immer wieder neu und anders – und begleiten uns daher das ganze Leben.*

*Mit diesen einfachen Fragestellungen gehen auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an das Thema heran. Es sind vor allem zwei Impulse, die die Gesundheitsforscher antreiben: das Bedürfnis, Zusammenhänge zu verstehen und positiv zu beeinflussen. Die Gesundheitsforschung bietet allerdings eine Besonderheit: Sie ist eine ganzheitliche Wissenschaft – sie begleitet uns, inklusive der klinischen Medizin, vom Labor bis zum Krankenbett und in der Pathologie oftmals auch darüber hinaus. Auch die Wissenschaftler der Universität Paderborn forschen nicht nur in Sachen Gesundheit, sondern kümmern sich ganz konkret um das Wohl ihrer Mitarbeiter. So bietet der Arbeitskreis „Gesunde Hochschule“ seit geraumer Zeit beispielsweise den Sport-Pausenexpress an, der unlängst im „Wettbewerb guter Praxis: Gesunde Hochschulen“ einen der ersten Plätze belegte.*

*Die aktuelle Ausgabe des ForschungsForums beleuchtet viele Bereiche zum Thema Gesundheit. So werden „adaptive Prothesen“ vorgestellt, ein Forschungsbereich, für den die Universität Paderborn im Jahr 2010 den mit 5 000 Euro dotierten Transferpreis OWL erhalten hat. Auch auf den ersten Blick eher ungewöhnliche Themen, wie „Leichtbau im Automobil“, bieten Einblicke in die weitreichende Gesundheitsforschung. In diesem Sinne wünsche ich allen Leserinnen und Lesern mit dem ForschungsForum eine spannende Lektüre, die hoffentlich neugierig macht auf die wissenschaftlichen Themen unserer Zeit.*

*Wilhelm Schäfer  
Vizepräsident für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs*

# Wieder natürlich gehen und greifen

## Intelligente Prothesensteuerungen durch Mustererkennung

Prof. Dr. Marco Platzner, Dipl.-Inf. Alexander Boschmann, Dipl.-Inf., Dipl.-Math. Paul Kaufmann

Schon vor über 3 000 Jahren stellte man in Ägypten einfache Prothesen her, deren Gebrauchseigenschaften allerdings heutigen Ansprüchen kaum genügen dürften. Heute ermöglichen mikroprozessorgesteuerte Arm- oder Beinprothesen komplexe Bewegungen und sogar eine sportliche Betätigung und verbessern so maßgeblich die Lebensqualität der Betroffenen. Allerdings ist die Steuerung aktueller Prothesen nicht intuitiv und auf die Ausführung weniger Bewegungen beschränkt. Mit wachsenden technischen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Informatik eröffnen sich neue Chancen, diese Funktionsschwächen zu überwinden. Dieses Projekt wurde mit dem Transferpreis OWL 2010 ausgezeichnet.

Allein in Deutschland werden nach Schätzungen des Wissenschaftlichen Instituts der AOK jährlich über 55 000 Bein- und Fußamputationen sowie über 4 000 Arm- und Handamputationen durchgeführt. Die häufigsten Ursachen dafür sind Durchblutungsstörungen wie die arterielle Verschlusskrankheit, die Zuckerkrankheit Diabetes mellitus und Unfälle. Der Verlust einer Hand oder eines Beins bedeutet einen gravierenden Einschnitt in das Leben des Betroffenen.



Abb. 1: Prototypen einer Hand- und Beinprothese mit einer neuartigen Steuerung.



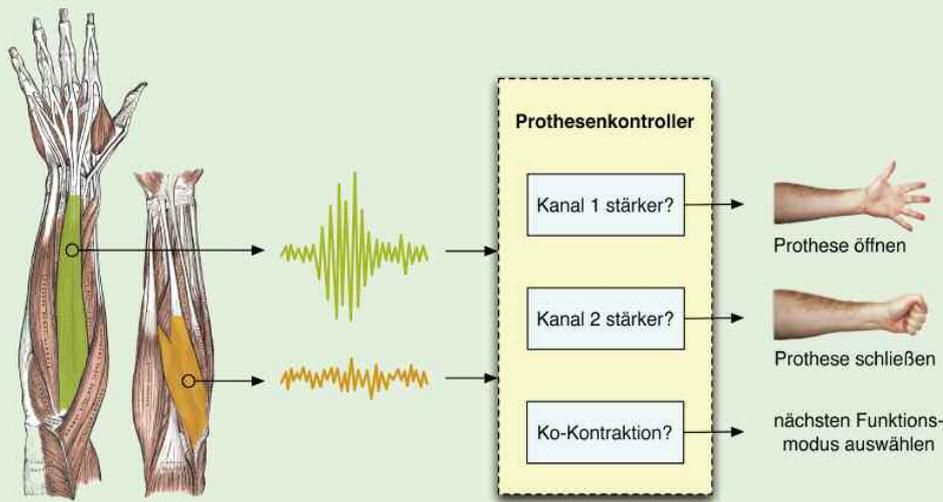
Prof. Dr. Marco Platzner ist seit 2004 Leiter des Fachgebiets Technische Informatik des Instituts für Informatik der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik. Seine aktuellen Forschungsschwerpunkte umfassen Architekturen und Entwurfsmethoden für rekonfigurierbare und parallele Rechnerarchitekturen sowie deren Anwendung in eingebetteten und Hochleistungsrechnersystemen.

Neben der psychischen Belastung durch die Amputation sind es vor allem funktionelle Einschränkungen, die den Alltag erschweren. Dies hat das Einbüßen eines Teils der Eigenständigkeit und Freiheit zur Folge und kann dazu führen, dass der Betroffene seinem zuvor ausgeübten Beruf nicht mehr nachgehen kann. Der Verlust der Sensibilität und der kosmetische Aspekt sind dabei zusätzlich belastend. Moderne elektronische Prothesen können die verlorengangene Funktionalität und Kosmetik zumindest teilweise wiederherstellen und erhöhen damit erheblich die Lebensqualität ihrer Träger.

Besonders auf dem Gebiet der Konstruktion sind aufgrund von Miniaturisierung der Komponenten und Verarbeitung moderner Materialien wie beispielsweise kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff große Fortschritte erzielt worden. Allerdings sind bei der Steuerung der Prothesen weitere Verbesserungen notwendig. So konnten wissenschaftliche Studien aufzeigen, dass beispielsweise über ein Drittel aller elektronischen Handprothesen in Deutschland nur unregelmäßig oder gar nicht getragen wird. Die wichtigsten Kritikpunkte dabei sind eine nicht intuitive Arbeitsweise und die geringe Anzahl an Bewegungen, die die Prothese durchführen kann.

In diesem Artikel wird ein neuer Ansatz der Steuerung elektronischer Prothesen vorgestellt. In Zusammenarbeit des Fachgebiets Technische Informatik der Universität Paderborn mit den Firmen OTW Orthopädietechnik Winkler in Minden, iXtronics in Paderborn und dem Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig sind Prototypen neuartiger Hand- und Beinprothesen mit einer innovativen Steuerung (Abbildung 1) entstanden, die sich derzeit in der Testphase befinden. In diesem Zusammenhang war es die Aufgabe des

(a) Steuerungsschema aktueller Handprothesen



(b) Neuartiges Steuerungsschema

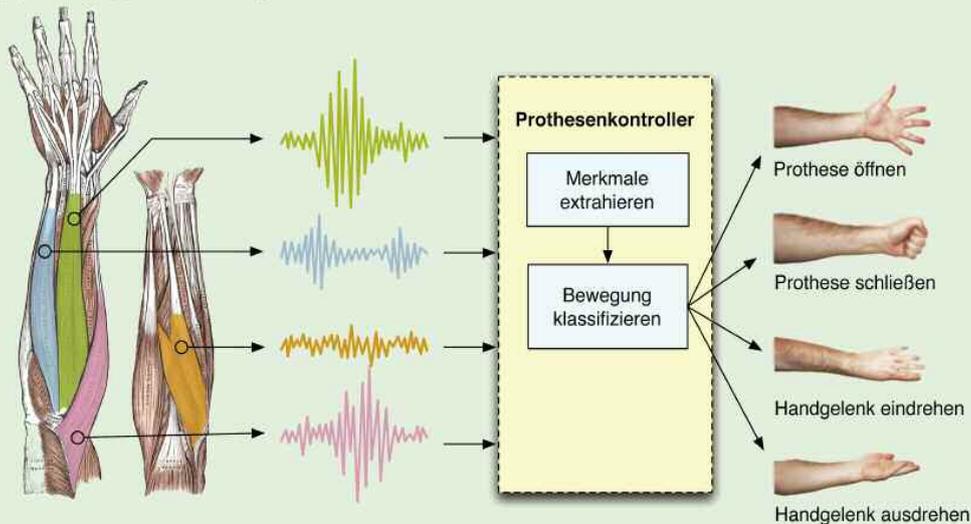


Abb. 2: Traditionelles (a) und modernes (b) Steuerungsschema von EMG-basierten Handprothesen im Vergleich.

Fachgebiets Technische Informatik, Methoden zur sicheren Erkennung des aktuellen Bewegungszustands des Prothesenträgers zu entwickeln, die in diesem Artikel näher erläutert werden.

### Steuerung einer Handprothese

Die meisten heute verfügbaren elektronischen Handprothesen werden durch die Messung von Muskelaktivität in Form von elektromyographischen (EMG) Signalen [1] gesteuert. Das Prinzip beruht darauf, dass während der Kontraktion von Muskeln geringe elektrische Spannungen im Millivolt-Bereich entstehen, die mittels Oberflächenelektroden auf der Haut gemessen werden. Die Wirkungsweise ist vielen vom Elektrokardiogramm (EKG) bekannt, bei dem die Aktivität des Herzmuskels aufgezeichnet und als Spannungskurve dargestellt wird.

Aktuelle elektronische Handprothesen machen sich dieses

Prinzip zunutze, indem sie die EMG-Signale zweier entgegengesetzt arbeitender Muskeln im Amputationsstumpf messen, etwa die der für die Beugung und Streckung des Handgelenks zuständigen Muskeln im Unterarm. Diese sind nach der Amputation häufig teilweise noch im Amputationsstumpf vorhanden und können differenziert bewegt werden. Anhängig davon, welches der beiden Signale stärker ist, wird die Handprothese geöffnet oder geschlossen (Abbildung 2 (oben)). Soll eine andere Funktion wie etwa die Drehung des Handgelenks ausgeführt werden, muss der Prothesenträger eine so genannte Ko-Kontraktion durchführen. Darunter versteht man das kurze, gleichzeitige Anspannen zweier entgegengesetzt arbeitender Muskeln, wodurch die Prothese in einen anderen Arbeitszustand versetzt wird. Der Wechsel zwischen den Funktionsmodi gestaltet sich dadurch als langsam und aufwändig. Da immer die gleichen beiden Muskeln für verschiedene Bewegungen gebraucht werden, erfordert die Benutzung darüber hinaus die ständige Konzentration des Benutzers.

### Charakteristische Merkmale für jede Bewegung

Wünschenswert wäre es, wenn der Amputierte seine Muskulatur

bei allen Bewegungen intuitiv gebrauchen könnte, was einen mühsamen Wechsel von Betriebsmodi überflüssig machen würde. Um dies zu erreichen, muss die Prothesensteuerung durch Mustererkennungsalgorithmen erweitert werden. Der Grundgedanke besteht darin, dass die bei den Muskelbewegungen entstehenden EMG-Signale reproduzierbare und wiederkehrende Informationen über die durchgeführte Bewegung enthalten, die vom Prothesenkontroller in einer Trainingsphase des Systems gelernt werden können. Während des anschließenden regulären Betriebs sollen die gelernten Muster wiedererkannt und zur Steuerung der Prothese genutzt werden (Abbildung 2 (unten)).

Diese für eine Bewegungsart charakteristischen Merkmale müssen aus dem relativ komplexen Datenstrom der EMG-Signale extrahiert und so aufbereitet und in der Komplexität reduziert werden, dass sie auf einem eingebetteten System mit eingeschränkter Rechen- und Speicherkapazität schnell und effizient weiterverarbeitet werden können. Die Heraus-

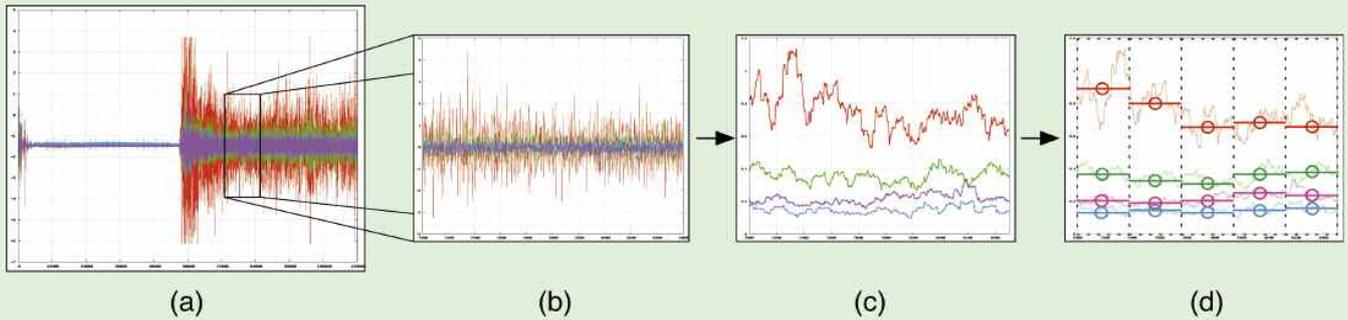


Abb. 3: Schema der Extraktion von charakteristischen Merkmalen. Aus dem Roh-EMG-Signal (a) werden 100 ms entnommen (b), gleichgerichtet und geglättet (c). Anschließend werden fünf Mittelwerte pro Kanal gebildet und einer Logarithmustransformation unterzogen (d). Die so ermittelten 20 Zahlenwerte bilden einen für die durchgeführte Bewegung repräsentativen Vektor.

forderung besteht darin, nur einen möglichst kurzen Teil des Signals für die Merkmalsextraktion zu verwenden, um einen flüssigen Betrieb der Prothese zu gewährleisten. Eine Latenz zwischen Muskelkontraktion und Durchführung der Bewegung durch die Handprothese von 100 bis 150 Millisekunden (ms) wird von Amputierten noch als flüssig wahrgenommen und soll nicht überschritten werden.

Verschiedene Methoden zur Merkmalsextraktion wurden experimentell untersucht und reichen von einfachen Berechnungen wie der Länge der Signalkurve oder der Anzahl der Vorzeichenwechsel in einem bestimmten Zeitabschnitt bis zu komplexeren Berechnungen in der Frequenzdomäne. Aufbauend auf der Arbeit von Kajitani [2] wurde eine Merkmalsextraktion formuliert, die einen in der Länge der Eingabedaten linearen Aufwand hat und sich damit besonders für

eine Implementierung auf einem eingebetteten System eignet.

Das Verfahren wird in Abbildung 3 (a)-(d) illustriert. Abbildung 3 (a) zeigt den während eines Experiments aufgezeichneten Roh-EMG-Signalverlauf während einer Dauer von 20 Sekunden. Auf der vertikalen Achse ist die Amplitude des Signals in Volt aufgetragen, die vier Farben entsprechen vier EMG-Sensoren an unterschiedlichen Positionen des Unterarms. In den ersten zehn Sekunden wurde keine Bewegung ausgeführt, was am relativ flachen Signalverlauf erkennbar ist. Während der folgenden zehn Sekunden wurde vom Probanden eine Handbewegung durchgeführt. Dies führt zu einem deutlichen Ausschlag aller vier Kanäle des EMG-Signals. Aus diesem Roh-EMG-Signal der Kontraktionsphase wird nun ein Bereich von 100 ms betrachtet, der in Abbildung 3 (b) dargestellt ist. Darin wird das Signal zunächst gleichgerichtet und geglättet. Dies wird in Abbildung 3 (c) veranschaulicht. Anschließend werden in diesem Zeitabschnitt kanalweise fünf Mittelwerte durch gleitende Fenster bestimmt, die dann einer Logarithmustransformation unterzogen werden (Abbildung 3 (d)). Bei der Verwendung von vier Kanälen kommt so ein Vektor aus 20 Zahlenwerten zustande, der charakteristisch für die durchgeführte Bewegung ist.

### Klassifikation

Damit der Prothesenkontroller die zu einer Bewegung passenden Merkmale erlernen und anschließend wiedererkennen kann, muss ein Klassifikator eingesetzt werden. Bei Klassifikatoren handelt es sich um Algorithmen bzw. Programme, die Merkmale in einem Merkmalsraum auf eine Menge von Klassen, in diesem Fall Bewegungen abbilden. Bei der Entwicklung des Handprothesen-Prototypen wurden sowohl seit langem bekannte Verfahren wie künstliche neuronale Netze oder k-th Nearest Neighbor betrachtet [6], als auch relativ neue Verfahren wie Support Vector Machines (SVM) [3]. Letztere stellten sich experimentell als besonders leistungsstark dar. Wesentliche Vorteile von Support Vector Machines sind die bekannt gute Generalisierungsfähigkeit und eine schnelle Klassifikation bei geringem Ressourcenverbrauch. Dadurch ist auf der im Prothesenprototypen verwendeten eingebetteten Hardware eine Neuklassifikation der gemessenen EMG-Signale alle 50 ms möglich.



Abb. 4: Amputierter Proband während einer Testreihe mit dem Prototypen einer neuartigen Oberarmprothese.

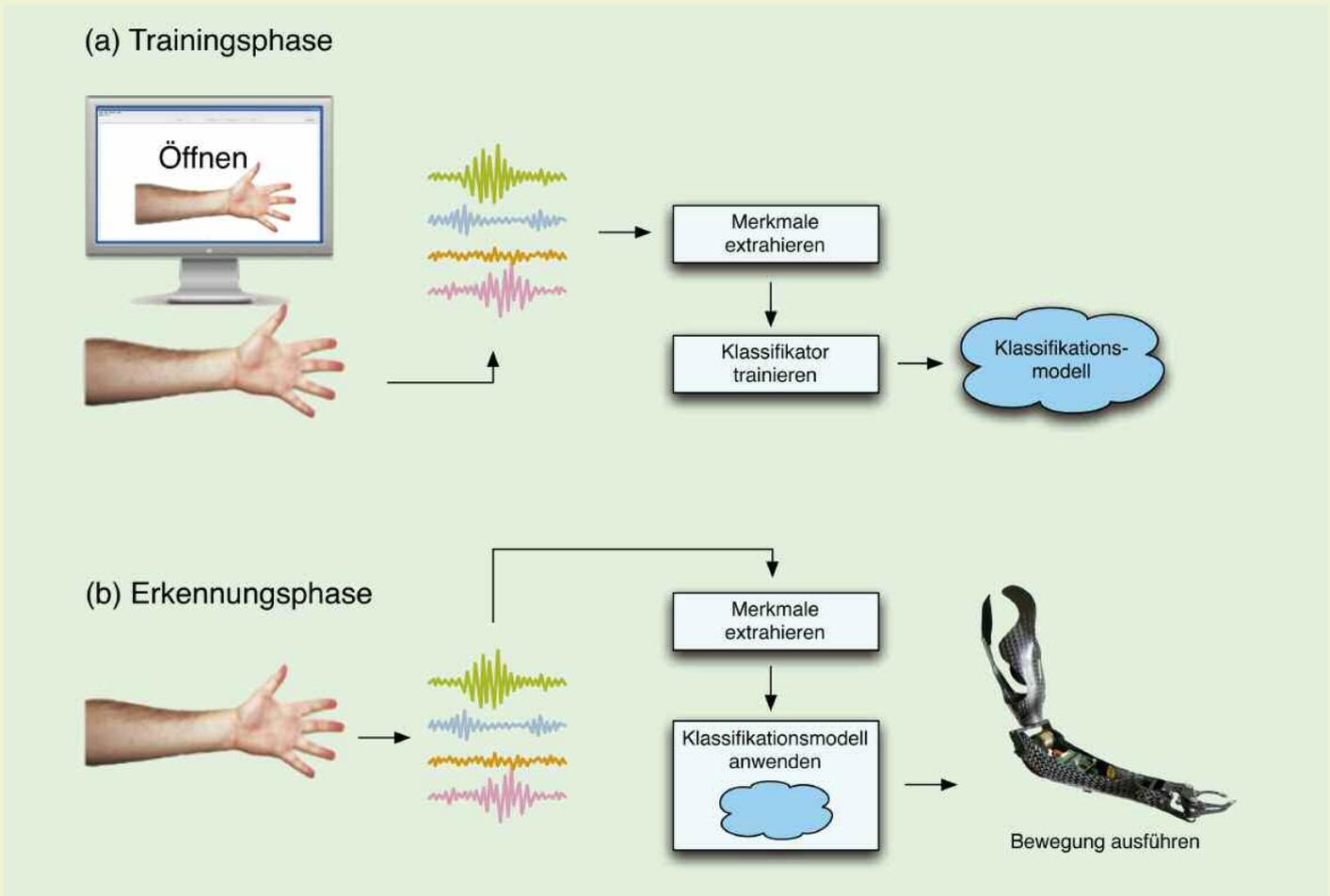


Abb. 5: Schema der Trainings- (a) und Erkennungsphase (b) des Handprothesenprototypen.

Um die Eignung eines Probanden für die Versorgung mit einer neuartigen Handprothese festzustellen, ist es wichtig, die Klassifikationsleistung des Systems zu evaluieren. Zu diesem Zweck wurde ein zweigliedriges Testschema bestehend aus einer Trainings- und einer Erkennungsphase entwickelt und bei Experimenten mit amputierten Probanden evaluiert (Abbildung 4). Zuerst werden die relevanten Muskeln im Amputationsstumpf durch einen Orthopädietechniker bestimmt und mit Oberflächenelektroden für eine EMG-Messung mit vier Kanälen beklebt. In Zusammenarbeit mit einem Physiotherapeuten werden die später von der Prothese durchzuführenden Bewegungen bestimmt und eingeübt.

An einem Computer müssen die Probanden zunächst während der Trainingsphase (Abbildung 5 (a)) nach Aufforderung auf dem Bildschirm zuvor eingeübte Bewegungen durch Pausen getrennt hintereinander ausführen. Die so gewonnenen Signale werden als Trainingsdaten bezeichnet. Aus ihnen werden für jede Bewegung Merkmale extrahiert, mit denen der Klassifikator trainiert wird. In der Praxis hat sich gezeigt, dass etwa vier Ausführungen jeder zu trainierenden Bewegung für eine gute spätere Wiedererkennung ausreichen können. Damit die Erkennung auch unter realistischen Bedingungen möglichst robust funktioniert, muss die Testperson die Bewegungen während des Trainings möglichst variabel, also z. B. mit unterschiedlichen Winkel-

stellungen des Arms durchführen. Das Ergebnis dieses Schrittes ist ein vom Klassifikator berechnetes Klassifikationsmodell.

In der anschließenden Erkennungsphase (Abbildung 5 (b)) werden die gleichen Bewegungen in zufälliger Reihenfolge auf dem Bildschirm angezeigt und müssen von den Probanden durchgeführt werden. Die so gewonnenen EMG-Signale werden als Testdaten bezeichnet. Aus ihnen werden Merkmale extrahiert, die durch den Klassifikator mithilfe des zuvor erstellten Modells in Bewegungen kategorisiert werden. Je mehr Bewegungen vom Klassifikator korrekt bestimmt werden, desto sicherer funktioniert eine auf diesem Prinzip arbeitende Prothese. Das Verhältnis aus der Anzahl korrekter Zuordnungen zur Gesamtzahl der Klassifikationen ist aber nur eine grobe Abschätzung der Klassifikationsgüte. Ein aussagekräftigeres Maß ist etwa der Zeitaufwand, den ein Proband benötigt, um eine bestimmte Anzahl ununterbrochen korrekter Klassifikationen zu erreichen. Versuchsreihen mit Amputierten zeigen, dass die Klassifikationsleistung mit der Häufigkeit der Experimente steigt. Eine robuste Erkennungsrate lässt sich also gut trainieren.

Eine weitere spannende Erkenntnis aus Vorversuchen besteht darin, dass die Klassifikationsleistung nach einigen Tagen abnimmt, wenn die Prothese nicht von Zeit zu Zeit neu trainiert wird [4,5]. Der dafür nötige zeitliche und finanzielle Aufwand könnte durch den Einsatz von selbst-adaptiven

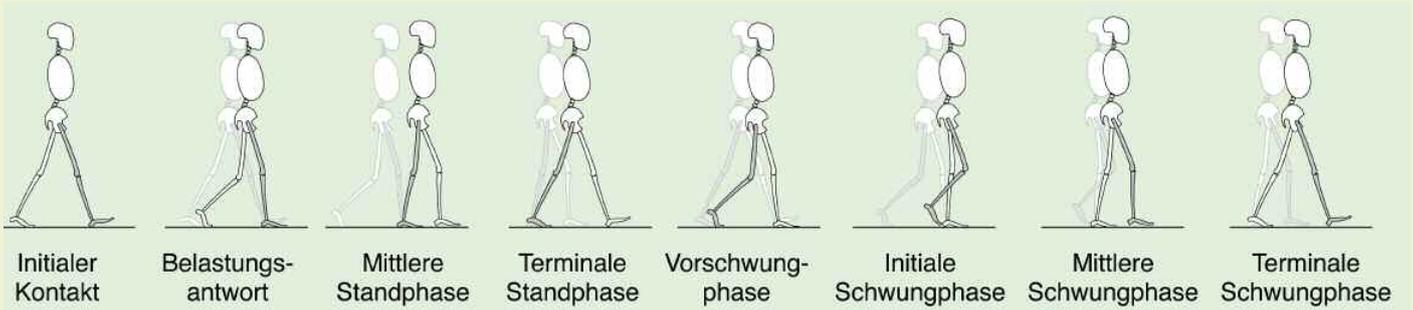


Abb. 6: Gangphasen beim natürlichen Gang nach [7], die vom Prothesenkontroller mithilfe der Mustererkennungsalgorithmen erkannt werden. Ihre Abfolge stellt ein realistisches Bewegungsmodell des menschlichen Gangs dar. Die Abbildungen zeigen jeweils Beginn und Ende der jeweiligen Gangphase. Das rechte Bein ist als referenz grau eingefärbt.

Rechnersystemen minimiert werden. Insbesondere rekonfigurierbare Rechnerarchitekturen, die sich sogar in ihrer Hardware an veränderte Betriebsbedingungen anpassen können, sind hier Gegenstand der Forschung [6].

### Steuerung einer Beinprothese

Während bei der Steuerung einer Handprothese zeitlich ausgedehnte Einzelbewegungen unterschieden werden müssen, ist es das Ziel einer Beinprothesensteuerung, ein möglichst natürliches Gangbild des Amputierten zu erreichen. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass Amputierte mit heutigen Beinprothesen häufig ein unnatürliches Gangbild entwickeln. Dies resultiert darin, dass sie deutlich mehr biomechanische Energie beim Gehen aufwenden müssen und so früher ermüden als Nichtamputierte. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass aus dem unnatürlichen Gangbild durch Fehlstellungen Haltungsschäden resultieren können.

Ein natürlicher Bewegungsablauf besteht aus einer Reihe von aufeinanderfolgenden Muskelaktivitäten, die zusammen ein komplexes Bewegungsmuster bilden. Beim Gehen durchläuft die Oberschenkel- und Unterschenkelmuskulatur in der so genannten Standbeinphase fünf und in der so genannten Schwungbeinphase vier unterscheidbare Muskelaktivitäten. Physiologische Voraussetzung für das Entstehen komplexer Bewegungsmuster ist die Verschiebung von Muskeln und Muskelvolumina in den einzelnen Gangphasen.

Um das Ziel eines natürlichen Gangbildes mit einer Beinprothese zu erreichen, wurde in zwei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekten ein Prothesenprototyp mit einem adaptiven Schaft und speziell an die Amputationsart abgestimmten Gelenken entwickelt. Als Schaft wird in der Prothetik das Teil bezeichnet, das die Prothese mit dem verbleibenden Stumpf verbindet. Dieses Bauteil ist üblicherweise als Schalenstruktur ausgeführt, die den Stumpf umschließt. Im Gegensatz zu üblichen, starren Ausführungen ist im Rahmen der Projekte ein Schaft entwickelt worden, der über strukturintegrierte piezokeramische Aktuatoren verformt und dadurch an die jeweilige Situation angepasst werden kann, so dass die Prothese zu jedem Zeitpunkt optimal auf dem Stumpf sitzt.

Essenziell für die Steuerung des Prothesenstumpfes ist die

Kenntnis darüber, in welcher Gangphase der Amputierte sich in jedem Moment befindet. Anders als im Fall der Handprothese können die einzelnen Gangphasen nicht wie Handbewegungen in der Trainingsphase vom Probanden einzeln mit Pausen getrennt durchgeführt werden. Vielmehr ist ein aus den Gangphasen zusammengesetzter Doppelschritt im Idealfall eine fließende Bewegungsabfolge von nur etwa 1,4 Sekunden Länge.

Um die aus der Stumpfmuskulatur gewonnenen EMG-Signale in einzelne Gangphasen zu unterteilen, müssen sie durch zusätzlich erfasste Ereignisse synchronisiert werden. Zu diesem Zweck wurde eine Schuhsohle mit eingebetteten Drucksensoren entwickelt. Mit ihr ist es möglich, exakt die Zeitpunkte zu bestimmen, bei denen der Prothesenfuß auf dem Boden aufkommt, abrollt und wieder vom Boden abhebt.

Auch bei der Beinprothesensteuerung ist eine Trainingsphase notwendig, bevor das System die Gangphasen des Benutzers während des Gehens erkennen kann. Nach Festlegung der zu messenden Muskelgruppen im Amputationsstumpf durch den Orthopädietechniker werden EMG-Sensoren und Messsohle an den Prothesenprototypen angebracht. Nun muss der Proband unter Anleitung eines Physiotherapeuten mit der Prothese mehrmals über eine Teststrecke gehen. Der Physiotherapeut stellt durch Korrekturen sicher, dass der Proband während der Trainingsphase ein gutes Gangbild beibehält. Währenddessen überträgt das Messsystem die gemessenen EMG-Signale zusammen mit den Daten der Messsohle drahtlos an einen Computer, auf dem die weitere Auswertung erfolgt. Mit den Daten der Drucksensoren werden die EMG-Signale in Doppelschritte mit jeweils acht Gangphasen partitioniert. Aus diesen Daten werden für jede Gangphase Merkmale extrahiert und ein gemeinsames Klassifikationsmodell erzeugt.

Nachdem der Klassifikator mit den Trainingsdaten des Probanden trainiert wurde, kann der Prothesenkontroller das Klassifikationsmodell dazu benutzen, den kontinuierlichen Strom an EMG-Daten in Gangphasen zu unterteilen und den Schaft des Prothesenprototypen zu steuern. Die Daten der Messsohle sind nur in der Trainingsphase notwendig und werden in der Erkennungsphase nicht benötigt.

Eine wichtige Rolle in der Erkennungsphase spielen realistische Bewegungsmodelle, die die Phasen des menschlichen Gangs nicht isoliert voneinander abbilden, sondern als

zusammenhängende Folge anatomisch aufeinander aufbauender Bewegungsabläufe modellieren (Abbildung 6). Erkennt der Klassifikator mit hoher Sicherheit eine bestimmte Gangphase, so kann er Annahmen über die darauf folgende Gangphase treffen und somit den Suchraum für die Klassifikation verringern.

Eine robuste Gangphasenerkennung in Verbindung mit realistischen Bewegungsmodellen kann außer für die Steuerung des Schafts auch für die Erkennung von Notfallsituationen eingesetzt werden. Eine plötzlich auftretende Unterbrechung einer Folge von Gangphasen kann beispielsweise dadurch auftreten, dass der Proband mit der Prothese über einen Gegenstand stolpert. Nach Erkennen einer solchen Notsituation kann der Prothesenkontroller das Prothesengelenk versteifen und so einen sicheren Ausfallschritt des Prothesenträgers ermöglichen. Derzeit wird auch der Einsatz von Beschleunigungssensoren experimentell untersucht, um weitere Notfallsituationen schnell erkennen zu können.

Für die erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit im Rahmen der Entwicklung der hier vorgestellten neuartigen Prothesenschäfte und -gelenke wurde dem Fachgebiet Technische Informatik der Universität Paderborn, der iXtronics GmbH, Paderborn, der OTW Orthopädietechnik Winkler, Minden, und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig, der Transferpreis OWL 2010 der IHK Bielefeld verliehen.

### Fazit

Moderne Methoden aus der Informatik können dabei helfen, die Steuerung elektronischer Hand- und Fußprothesen maßgeblich zu verbessern, eine intuitivere Benutzung mit mehr Freiheitsgraden zu ermöglichen und die Sicherheit zu erhöhen. Die in diesem Artikel vorgestellten Prototypen von Hand- und Beinprothesen befinden sich derzeit in Labortests mit amputierten Probanden. Erste Ergebnisse der Tests sind vielversprechend, jedoch gibt es noch einige Fragestellungen, die bis zu einer Markteinführung gelöst werden müssen, beispielsweise wie das Trainieren der Prothese im Alltag aussehen wird.

### Literatur

- [1] R. MERLETTI AND P. A. PARKER, EDITORS. ELECTROMYOGRAPHY: PHYSIOLOGY, ENGINEERING, AND NONINVASIVE APPLICATIONS. JOHN WILEY & SONS, HOBOKEN, USA, 2004.
- [2] I. KAJITANI, I. SEKITA, N. OTSU AND T. HIGUCHI, „IMPROVEMENTS TO THE ACTION DECISION RATE FOR A MULTI-FUNCTION PROSTHETIC HAND,” IN PROCEEDINGS 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MEASUREMENT, ANALYSIS AND MODELING OF HUMAN FUNCTIONS, 2001.
- [3] B. SCHÖLKOPF AND A. SMOLA: LEARNING WITH KERNELS: SUPPORT VECTOR MACHINES, REGULARIZATION, OPTIMIZATION, AND BEYOND (ADAPTIVE COMPUTATION AND MACHINE LEARNING). THE MIT PRESS, 2000.
- [4] P. KAUFMANN, K. ENGLEHART AND M. PLATZNER: FLUCTUA-

TING EMG SIGNALS: INVESTIGATING LONG-TERM EFFECTS OF PATTERN MATCHING ALGORITHMS. IN 32ND ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2010.

- [5] A. BOSCHMANN: AUFBAU UND EXPERIMENTELLE BEWERTUNG EINES SYSTEMS ZUR LANGZEITKLASSIFIKATION VON EMG-SIGNALLEN, STUDIENARBEIT, UNIVERSITÄT PADERBORN, 2008.
- [6] P. KAUFMANN, K. GLETTE, T. GRUBER, M. PLATZNER, J. TORRESEN, AND B. SICK. CLASSIFICATION OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS: COMPARING EVOLVABLE HARDWARE TO CONVENTIONAL CLASSIFIERS. IEEE TRANS. EVOLUTIONARY COMPUTATION, 2012. (ZUR VERÖFFENTLICHUNG ANGENOMMEN).
- [7] PERRY, J.: GAIT ANALYSIS. NORMAL AND PATHOLOGICAL FUNCTION. SLACK INT. BOOK DISTRIBUTORS, 1992.



**Dipl.-Inf. Alexander Boschmann** studierte Informatik an der Universität Paderborn und arbeitet seit Juni 2010 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Technische Informatik.



**Dipl.-Inf., Dipl.-Math. Paul Kaufmann** studierte Informatik und Mathematik an der Universität Paderborn und arbeitet seit 2005 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Technische Informatik.

#### Kontakt:

Prof. Dr. Marco Platzner

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

Institut für Informatik

05251 60-5250

platzner@upb.de

# Altes Eisen?

## Ökonomische Altersforschung am Beispiel der Landesarbeitsgerichte

Prof. Dr. Martin Schneider und Prof. Dr. Uschi Backes-Gellner

**Aufgrund des demographischen Wandels werden ältere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer künftig länger erwerbstätig sein. Ältere gelten jedoch häufig als weniger produktiv im Beruf als Jüngere. Der Beitrag zeigt, dass dieses Stereotyp falsch ist, zumindest für solche Tätigkeiten, die in Industrieländern künftig einen wesentlichen Teil der Arbeitsplätze ausmachen: komplexe Dienstleistungen. Die Altersforschung in Medizin, Psychologie und Ökonomie hat nachgewiesen, dass sich mit dem Alter bestimmte individuelle Fähigkeiten verschlechtern, andere sich jedoch sogar verbessern. Deshalb haben Ältere im Beruf typische Schwächen – aber auch Stärken. Ihr Beitrag zur quantitativen Produktivität (Menge, Geschwindigkeit) ist geringer als bei Jüngeren – ihr Beitrag zur qualitativen Produktivität (Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Kreativität) ist jedoch höher. Illustriert werden diese Überlegungen mit Daten zur Produktivität von Landesarbeitsgerichten.**

### Ein Stereotyp und die Folgen

Ältere Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen gelten als weniger physisch belastbar, weniger lernfähig, weniger innovativ und sogar weniger motiviert in ihrer Arbeit als jüngere – so jedenfalls die Ansicht vieler Menschen in Deutschland und anderswo. Das Stereotyp vom alten Eisen dürfte zu einem Jugendwahn auf dem Arbeitsmarkt beigetragen haben: Wann immer in den letzten Jahren die Beschäftigung zurückgegangen ist, waren es vor allem Ältere, die ihren Job verloren haben. Da zudem großzügige Regelungen zur Frühpensionierung bestanden und Ältere in der Regel mehr verdienen als Jüngere, ist es allzu verständlich, wenn Arbeitgeber in der Krise vor allem Ältere entlassen.

Das Stereotyp vom alten Eisen ist vor diesem Hintergrund doppelt schädlich. Erstens stützt es die eingefahrene Politik der Frühpensionierung und verschlechtert die Arbeitsmarktchancen Älterer. Zweitens wirkt es wie eine sich selbst erfüllende Prophezeiung in dem Sinne, dass der tatsächlichen Frühpensionierung häufig auch eine mentale folgt: Rohwedder und Willis zeigen, dass die kognitiven Fähigkeiten von Menschen über 65 Jahren stärker abnehmen (unter sonst gleichen Bedingungen), wenn sie frühpensioniert worden sind. Im Nachhinein erscheint die Frühpensionierung dann gerechtfertigt – weil die Älteren ja offensichtlich in ihrer Agilität nachlassen.

Glücklicherweise können sich weder Politik noch Unternehmen den Jugendwahn länger leisten. Eine im langfristigen Vergleich geringere Geburtenrate verbunden mit einer höheren Lebenserwartung sorgt für die wohlbekannte demogra-



Prof. Dr. Martin Schneider ist Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Personalwirtschaft in der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und seit Oktober 2011 Dekan der Fakultät. Seine Forschungsinteressen liegen in der ökonomischen Analyse des Arbeitsrechts, der international vergleichenden Personalpolitik und der empirischen Personalökonomie.

phische Veränderung: Die Bevölkerungspyramide stellt sich auf den Kopf, es gibt deutlich mehr ältere als jüngere Menschen. Für die Politik bedeutet dies, dass Regelungen zur massenhaften Frühpensionierung nicht mehr finanzierbar sind, und für die Unternehmen, dass jugendliche Belegschaften der Vergangenheit angehören. Dänemark ist vermutlich nur ein Vorreiter mit der Anhebung des Rentenalters auf 70 Jahre.

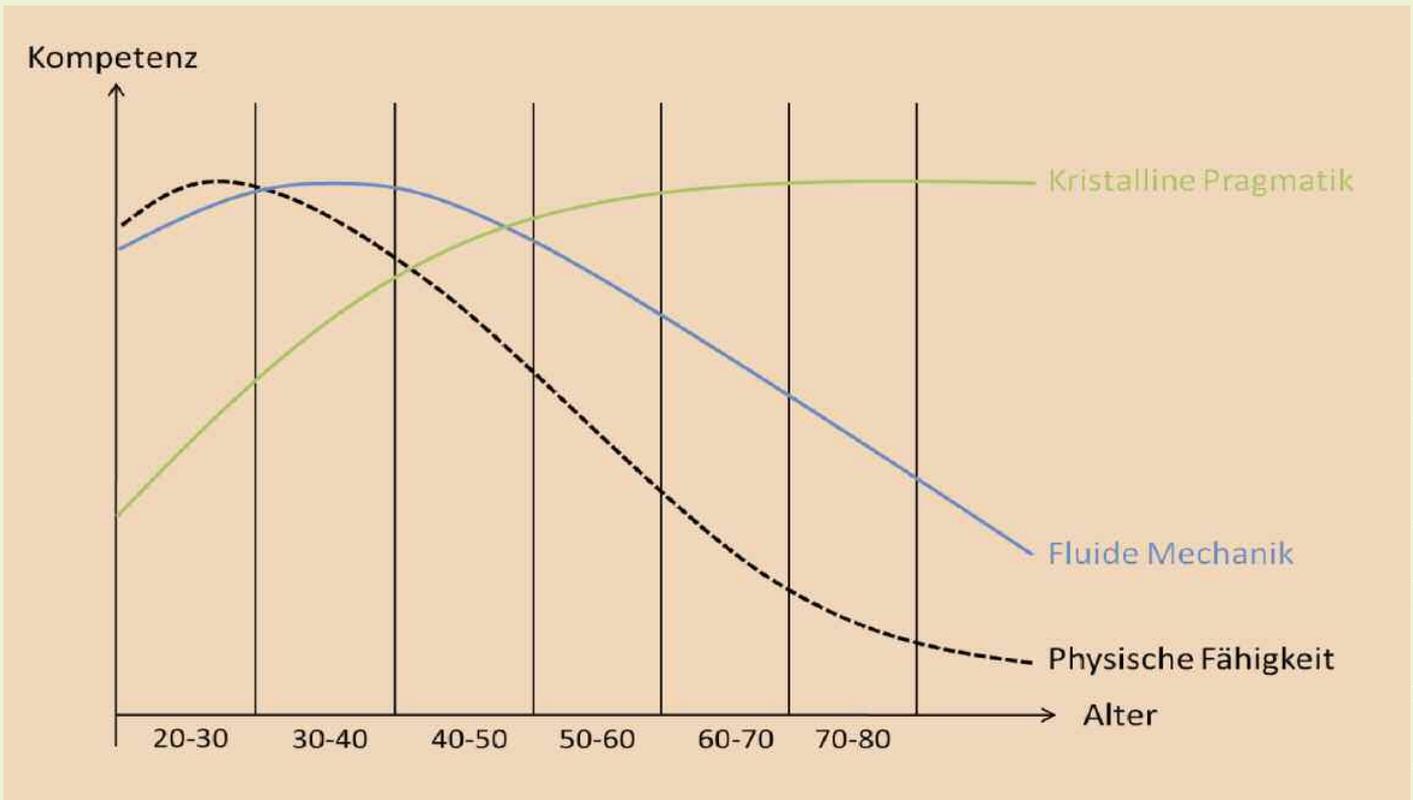
Leidet aber nicht durch die verstärkte Beschäftigung älterer Menschen die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen? Sind Ältere nicht weniger produktiv als Jüngere? Die Forschung gibt hierauf eine differenzierte und durchaus optimistische Antwort. Das Stereotyp verflüchtigt sich, wenn es mit den zentralen Ergebnissen der Altersforschung abgeglichen wird.

### Altersforschung

Die Gerontologie befasst sich aus interdisziplinärer Sicht mit dem Alter und dem Altern. Eine wichtige Frage ist, wie sich individuelle Kompetenzen im Lebenslauf entwickeln. Es geht hier nicht direkt um berufliche Fähigkeiten, sondern um grundlegende Kompetenzen wie generelle körperliche Belastbarkeit, Gedächtnisleistung, logisches und mathematisches Denken, Wortschatz und verbales Ausdrucksvermögen.

Wie sich all diese Fähigkeiten mit dem Alter wandeln, ist individuell sehr verschieden. Gleichwohl lassen sich typische Veränderungen mit dem Alter feststellen, die aber – und das ist die zentrale Erkenntnis – für drei verschiedene Arten von Fähigkeiten unterschiedlich ausfallen (vgl. Abbildung 1).

- Die körperlichen Fähigkeiten nehmen mit dem Alter deutlich ab, und zwar typischerweise bereits ab einem Alter von etwa 30 Jahren.



Quelle: In Anlehnung an Backes-Gellner, Veen, Schneider

Abb. 1: Die typischen Verläufe der Kompetenzniveaus mit dem Alter sind für die drei Arten von Fähigkeiten hier abgetragen, als stilisierte Umsetzung der Befunde in der Altersforschung. Verschiedene Formen von Kompetenzen wandeln sich typischerweise unterschiedlich mit dem Alter – Die Idee einer Abnahme der generellen Leistungsfähigkeit ab einem bestimmten Alter ist also falsch.

- Auch eine Form der kognitiven Kompetenz – die fluide Mechanik – nimmt mit dem Alter ab, beginnend typischerweise ab einem Alter von 35 Jahren. Zur fluiden Intelligenz gehören Abstraktionsfähigkeit, Auffassungsgabe, die Fähigkeit zur schnellen Informationsverarbeitung sowie Merk- und Gedächtnisleistung. Die altersbedingte Abnahme ist schlicht auf das biologische Altern des Gehirns zurückzuführen.
- Eine andere Form der kognitiven Kompetenz – die kristalline Pragmatik – jedoch entwickelt sich deutlich anders, und dies ist vielleicht überraschend. Die kristalline Pragmatik umfasst all jene Fähigkeiten, die Allgemeinwissen, Erfahrungswissen, Wortschatz und Sprachverständnis benötigen. Eine griffige Formel für diese Fähigkeiten ist „Weisheit“, und in der allgemeinen Wahrnehmung ist Weisheit mit Alter verbunden. Das hält der wissenschaftlichen Prüfung insofern stand, als die kristalline Pragmatik typischerweise bis zu einem Alter von etwa 55 Jahren zunimmt, um dann bis ins hohe Alter praktisch konstant zu bleiben.

Im Lebensalter entwickeln sich verschiedene Kompetenzen offensichtlich unterschiedlich. Dies kann erklären, warum Studien zum Zusammenhang zwischen Alter und der generellen Produktivität im Beruf zu keinen gesicherten Erkenntnissen gelangt sind. Studien, die auf die individuelle berufliche Fähigkeit abstellen, kommen manchmal zu positiven, manchmal zu negativen und manchmal auch zu gar keinen Effekten. In einer jüngst veröffentlichten Metaanalyse haben Ng und Feldmann 380 Studien zusammengefasst und hieraus den Schluss gezogen: Es lässt sich kein klarer Effekt des Alters auf die Produktivität feststellen.

Erst in jüngerer Zeit sind die Ergebnisse der Altersforschung dazu genutzt worden, Stärken und Schwächen Älterer nach verschiedenen Berufen oder Tätigkeiten zu differenzieren. In einer jüngeren Studie zeigen zum Beispiel Backes-Gellner und Veen mit repräsentativen Daten für Deutschland: In Branchen, in denen eher komplexe und innovative Aufgaben zu erbringen sind, ist ein hoher Anteil Älterer an der Belegschaft positiv für die Produktivität. In Branchen hingegen, in denen eher Routineaufgaben anstehen, ist ein hoher Anteil Älterer schlecht für die Produktivität.

Bestimmte Berufe sind in gewisser Weise prädestiniert dafür, von Älteren besonders gut ausgefüllt zu werden. Richard Posner argumentiert beispielsweise, ältere Richter seien produktiver als jüngere. Posner muss es wissen: Er ist über 70 Jahre alt und Richter am US-amerikanischen Court of Appeals. Posners Buch zur Altersforschung war 1995 ein Pionierwerk und hat das Augenmerk auf Daten zur Produktivität von Richtern gelegt. Seither hat sich eine ganze Reihe von Studien damit befasst, inwiefern ältere Richter wirklich weise sind und daher produktiver und kreativer als jüngere Richter.

### Facetten der Performance

In einer aktuellen Studie (Backes-Gellner, Schneider und Veen 2011) haben wir Daten für deutsche Gerichte zusammengetragen, um den Alterseffekt zu untersuchen. Dabei wird die Altersforschung konsequent genutzt, um differenzierte Effekte zu ermitteln. Bei komplexen Dienstleistungen wie dem Rechtsprechen (oder dem Beraten, Managen,

Forschen und Entwickeln) ist es nämlich irreführend davon auszugehen, dass die Produktivität anhand eines einzigen Indikators zu messen ist. Dies tun aber bisherige Studien. Die Performance besteht jedoch meist aus verschiedenen Facetten. In der aktuellen Studie wird nun gezeigt, dass es sinnvoll sein kann, diese Facetten grob in Quantität und Qualität zu unterteilen – und dass diese beiden Dimensionen unterschiedlich vom Alter der Beschäftigten beeinflusst werden.

Eine Hochschullehrerin kann viele Arbeiten betreuen, viele Vorlesungen halten und viele Seiten verfassen. Das alles sind gut messbare Facetten der Quantität. Es sollte jedoch auch gemessen werden, wie intensiv die Betreuung ist, wie hoch der Lernerfolg der Vorlesungen und wie innovativ und einflussreich die verfassten Texte sind – die Facetten der Qualität. Beide Dimensionen müssen offensichtlich nicht übereinstimmen. Ein Berater kann vielen Menschen helfen, er kann jedoch vielleicht auch ganz besonders schwierigen Klienten durch eine eingehende Beratung helfen.

Verschiedene Facetten der Performance lassen sich auch bei der Rechtsprechung ausmachen. Gerichte bearbeiten viele Rechtsstreitigkeiten parallel, so dass jeder Fall möglichst schnell abschließend bearbeitet werden kann. Allerdings sollten die Gerichte ihre Fälle nicht einfach irgendwie „erledigen“. Vielmehr sollten sie zur Befriedung beitragen, indem sie einen Ausgleich in Form von Vergleichen zwischen den Streitparteien vermitteln. Sie sollten richtig entscheiden, also so, wie das Gesetz es vorsieht. Dies erfordert Interpretation, weil Gesetzestexte notwendigerweise unscharf formuliert sind, erst auf den konkreten Fall angewendet werden müssen und immer wieder neuartige Fälle auftreten. Daher müssen Gerichte ihre Entscheidungen so begründen, dass die künftige Rechtsprechung die Entscheidungen überzeugend findet und in gewisser Weise als Muster für neue Streitigkeiten nutzen kann.

All diese Facetten sind Teil der Produktivität von Gerichten. Sie lassen sich ebenfalls in Quantität (Zahl der bearbeiteten Fälle, Dauer der Streitigkeiten) und Qualität (Vergleichsquote, handwerkliche Qualität der Urteile) zusammenfassen.

Was haben die Facetten mit der Altersforschung zu tun? Tendenziell werden Quantität und Qualität in der Perfor-

mance von verschiedenen grundlegenden Kompetenzen unterstützt. Um schnell und in kurzer Zeit zu entscheiden, benötigen Individuen vor allem schnelles und genaues logisches Denken oder fluide Intelligenz (und vielleicht, aufgrund der nicht selten überlasteten Gerichte, eine hohe körperliche Belastbarkeit). Diese Kompetenzen sind eher solche, die mit dem Alter abnehmen.

Um zwischen den Streitparteien zu vermitteln und überzeugende Urteile zu formulieren, benötigen Individuen hingegen vor allem Erfahrung, Ausdrucksfähigkeit und Urteilskraft – die kristalline Pragmatik oder Weisheit, die mit dem Alter eher steigt oder zumindest nicht abnimmt. Demnach dürfte das Alter der Richterinnen und Richter sich differenziert auf die Produktivität der Gerichte auswirken: Die Quantität dürfte mit einem hohen Durchschnittsalter der Gerichte (oder einem hohen Anteil Älterer) fallen, die Qualität jedoch steigen oder zumindest nicht abnehmen.

### Studie zu den Landesarbeitsgerichten

Diese Idee wurde anhand von Daten zu den Landesarbeitsgerichten in Deutschland untersucht. Die Landesarbeitsgerichte sind die zweite Instanz der deutschen Arbeitsgerichtsbarkeit. Sie behandeln Streitigkeiten, die vor den Arbeitsgerichten (der ersten Instanz) bereits behandelt worden sind und in denen eine Partei Rechtsmittel gegen die erstinstanzliche Entscheidung eingelegt hat. Gegen die Beschlüsse und Urteile der Landesarbeitsgerichte wiederum können die Parteien vorgehen, indem sie sich an das Bundesarbeitsgericht in Erfurt wenden.

Die Daten beziehen sich auf neun Landesarbeitsgerichte im Zeitraum 1980 bis 1998. Die Produktivität wird auf Gerichtsebene gemessen. Daten auf individueller Ebene sind nicht verfügbar, sie wären zudem starken Schwankungen unterworfen, weshalb eine Untersuchung auf Gerichtsebene zu stabileren Ergebnissen gelangt, als es eine Untersuchung auf individueller Ebene könnte. Die Gerichte beschäftigten zwischen drei und 19 Richterinnen und Richter. Rechtsprechung war im Untersuchungszeitraum eine Männerdomäne. Von den 230 Richterinnen und Richtern in unseren Daten waren nur 35 Frauen, das entspricht einer Quote von 15 Prozent. Ein großer Vorteil einer Studie bei Gerichten ist, dass hier Ältere tatsächlich bis zur Altersgrenze von 65 Jahren beschäftigt werden. Richterinnen und Richter am Landesarbeitsgericht beginnen ihre Tätigkeit typischerweise im Alter zwischen 40 und 50; das Eintrittsalter schwankt jedoch beträchtlich, zwischen 35 Jahren und 61 Jahren. Alle Richter waren dann bereits fünf Jahre als Berufsrichterinnen und -richter (meist in der ersten Instanz beim Arbeitsgericht) tätig. Bei den Personen in unserer Studie handelt es sich also um hoch ausgebildete, bereits berufserfahrene, meist schon ältere und meist männliche Richter.

Die Facetten der Produktivität lassen sich anhand der Gerichtsdaten mit einer ganzen Reihe von Maßen abbilden, etwa der Zahl der erledigten Fälle unterteilt nach Streitgegenstand, der Quote der per Vergleich (nicht Urteil) abgeschlossenen Fälle, der Quote der in kurzer Zeit (unter sechs

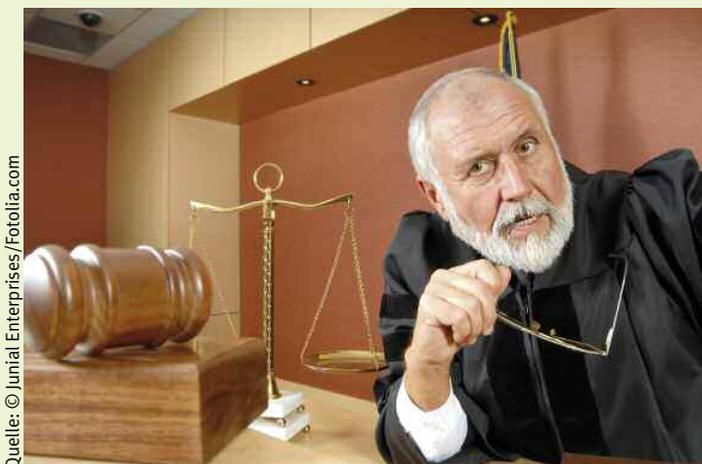


Abb. 2: Richter ist ein Beruf, für den Lebenserfahrung und Urteilsfähigkeit notwendig sind. Solche Weisheit traut man eher älteren Menschen zu.



Quelle: © Yuri Arcurs/Fotolia.com

Abb. 3: Ältere haben spezifische Stärken, etwa in der Urteilsfähigkeit. Sie können in Arbeitsgruppen, die komplexe Aufgaben erbringen, die Qualität der Leistung erhöhen.

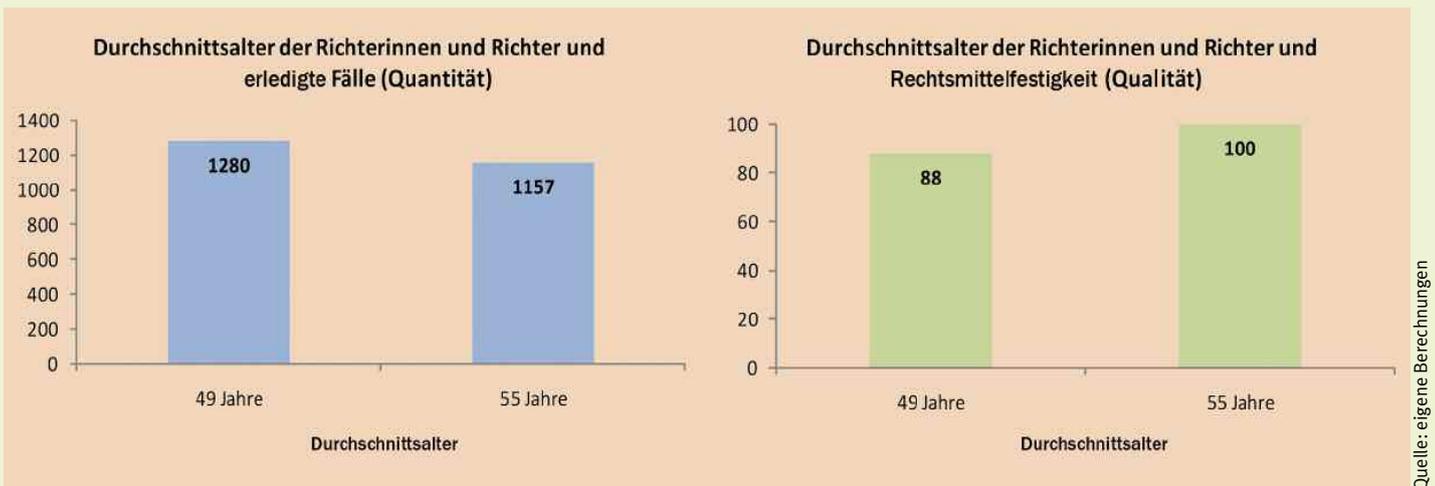
Monaten) beigelegten Fälle und der „Rechtsmittelfestigkeit“, definiert als Anteil der Entscheidungen, die vom Bundesarbeitsgericht als der nächst höheren Instanz nicht beanstandet werden. Unter all diesen Indikatoren beschränken wir uns auf zwei: die Zahl der pro Richter erledigten Fälle und die Rechtsmittelfestigkeit. Sie repräsentieren – gewissermaßen als Spitzenkennzahlen – die beiden Dimensionen Quantität (Zahl der erledigten Fälle) und Qualität (Rechtsmittelfestigkeit) besonders gut, und zwar in einem doppelten Sinn. Zum einen sind beide Indikatoren diejenigen, die besonders zentrale Facetten der Produktivität ausmachen. Zum anderen zeigen sich in den empirischen Ergebnissen, die im Folgenden präsentiert werden, die Alterseffekte in diesen Kennzahlen besonders deutlich, da sie von den verschiedenen kognitiven Kompetenzen in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst werden: Wie oben beschrieben, ist davon auszugehen, dass ältere Richterinnen und Richter aufgrund ihrer Lebenserfahrung eher in der Lage sind, rechtsmittelfeste Entscheidungen zu formulieren. Jüngere Richterinnen und Richter hingegen dürften eher in der Lage sein, ein hohes Verfahrensaufkommen zu bewältigen, und daher mehr Fälle im Jahr abschließend bearbeiten.

Das Maß für die Quantität – die Zahl der pro Gericht und Jahr erledigten Fälle – ist unproblematisch. Wie immer stellt auch in dieser Studie das Qualitätsmaß besondere Probleme dar. Unser Qualitätsmaß, der Anteil der veröffentlichten Urteile, die einer Überprüfung durch das Bundesarbeitsgericht

standgehalten haben (Rechtsmittelfestigkeit), beruht auf Recherchen in der Entscheidungsdatenbank „Juris“. Hier werden die wichtigsten Entscheidungen der Landesarbeitsgerichte dokumentiert ebenso wie die Entscheidungen des Bundesarbeitsgerichts. Alle dokumentierten Entscheidungen des Bundesarbeitsgerichts wurden dahingehend gelesen, ob sie die Rechtsfindung des Landesarbeitsgerichts, der Vorinstanz, bestätigen oder aber kassieren. Die in Juris veröffentlichten Entscheidungen sind besonders interessant und wichtig, weil sie der Debatte in der Rechtswissenschaft und den Richtern in künftigen Streitfällen als Muster zur Verfügung stehen. Sie strahlen somit auf die künftige Rechtsfindung aus, erlangen also eine Bedeutung, die über den einzelnen Fall hinaus weist. Entscheidungen werden dann aufgehoben, wenn sie nicht nach den Regeln der Kunst formuliert sind oder eine Argumentation entwickeln, die das Bundesarbeitsgericht nicht überzeugt. Beides sind Qualitätsmängel.

Ein Problem dieses Indikators ist, dass Entscheidungen auch aus formalen oder auch politischen Gründen aufgehoben werden können, was beides keinen Qualitätsmangel darstellt. Das betrifft jedoch nur vereinzelte Entscheidungen. Da sich die empirische Analyse auf alle veröffentlichten Entscheidungen stützt, fallen Aufhebungen aus formalen und politischen Gründen, die in dem einen oder anderen Fall denkbar sind, insgesamt nicht ins Gewicht.

Wie wirkt das Alter auf die beiden Indikatoren für Quantität



Quelle: eigene Berechnungen

Abb. 4: Das Durchschnittsalter der Richterinnen und Richter an den Landesarbeitsgerichten wirkt unterschiedlich auf verschiedenen Dimensionen der Produktivität: negativ auf die Quantität, aber positiv auf die Qualität. Die Zahlen berufen sich auf den Koeffizienten für das Durchschnittsalter, die in den Schätzungen durchweg statistisch signifikant sind.

und Qualität? Dies wurde anhand quantitativer Analysen – Regressionsschätzungen – geprüft. Rechtliche Entscheidungen werden hier somit einer ökonomischen und quantitativen Analyse unterzogen. Dieser Ansatz ist der ökonomischen Analyse des Rechts zuzuordnen, einem Forschungsstrang, der seit einigen Jahrzehnten vor allem in angelsächsischen Ländern verbreitet ist. In Deutschland steht die juristische Zunft diesem Ansatz eher skeptisch gegenüber, ganz gemäß dem Motto „iudex non calculat“.

Die Regressionsschätzungen erlauben es, den Effekt der Altersstruktur in gewisser Weise zu isolieren, da der Einfluss einer ganzen Reihe intervenierender Variablen kontrolliert werden kann. Zeiteffekte werden eingefangen, da sich die Daten auf den Zeitraum 1980 bis 1998 beziehen. Bestimmte gerichtsspezifische Effekte werden eingefangen durch Kontrolle für die neun Landesarbeitsgerichte. Zudem wird die durchschnittliche Berufserfahrung der Richterinnen und Richter in den Rechnungen kontrolliert. Sie spielt interessanterweise bei diesen durchweg gestandenen Fachleuten keine Rolle mehr zur Erklärung der Produktivität. Es ist jedoch wichtig, die Berufserfahrung in die Schätzungen aufzunehmen, denn so ist sichergestellt, dass die Effekte der Altersvariablen die Lebenserfahrung, nicht die Berufserfahrung widerspiegeln. Auch die Wirkung von Karriereanreizen ist herausgerechnet, indem die Beförderungsaussichten der Richterinnen und Richter des jeweiligen Gerichts als Variable aufgenommen werden. Die Alterseffekte erweisen sich als robust, wenn die Schätzungen variiert werden, so dass von echten Effekten der Altersstruktur ausgegangen werden kann.

Die Regressionsschätzungen bestätigen in ihrer Richtung die erwarteten Alterseffekte und die ermittelten Effekte sind statistisch gesichert. Die Effektgrößen sind beachtlich und lassen sich anhand einfacher Rechnungen illustrieren (vgl. Abbildung 4). Hypothetische Gerichte, deren Richterinnen und Richter im Schnitt 49 Jahre alt sind, sind den Rechnungen zufolge quantitativ produktiver, aber qualitativ weniger produktiv als Gerichte mit einem Altersschnitt von 55 Jahren. Die „jüngeren“ Gerichte bearbeiten ungefähr 120 Fälle mehr

im Jahr (wenn man von einem mittelgroßen Gericht ausgeht, das 1 280 Fälle im Jahr bearbeitet). Allerdings werden jüngere Gerichte auch weniger häufig bestätigt. Während ältere Gerichte praktisch immer bestätigt werden, liegt die Quote bei jüngeren Gerichten bei 88 Prozent – mit anderen Worten, die Entscheidungen von jüngeren Gerichten werden in etwa 12 Prozent der Entscheidungen vom Bundesarbeitsgericht kassiert.

Diese Effekte sind überraschend stark, obwohl sie sich ja auf Durchschnitte auf Gerichtsebene stützen, nicht individuelle Alterseffekte, und obwohl ganz junge Richterinnen und Richter (unter 35) gar nicht an den Landesarbeitsgerichten beschäftigt werden.

Ein genauere Blick auf die Daten unterstützt den Schluss, dass die Effekte dem entsprechen, was die Altersforschung im Hinblick auf die Entwicklung der Kompetenzen ermittelt hat. Zusätzliche Rechnungen zeigen nämlich, dass die Altersstruktur auf besondere Weise asymmetrisch auf Quantität und Qualität wirkt. Der Anteil der jüngeren Richterinnen und Richter (unter 50 Jahren) an einem Gericht wirkt sich negativ auf die Rechtsmittelfestigkeit – die Qualität – aus; der Anteil der älteren Richterinnen und Richter (über 59 Jahren) ist hier irrelevant. Für die Zahl der erledigten Fälle – die Quantität – ist es jedoch der Anteil der älteren Richterinnen und Richter (über 59 Jahren), der sich negativ auf die Zahl der erledigten Fälle (die Quantität) auswirkt, während der Anteil der jüngeren Richter (unter 50 Jahren) nicht relevant ist.

**Fazit**

Die Landesarbeitsgerichte sind im Hinblick auf die gemessenen Effekte vermutlich kein Sonderfall. Ähnlich wie Gerichte, müssen auch Unternehmen künftig mehr Ältere beschäftigen. Ähnlich wie in den Gerichten, üben Ältere dort – jedenfalls in Deutschland und anderen Industrieländern – komplexe Tätigkeiten aus, die nicht allein mit hoher körperlicher Belastbarkeit und einer hohen fluiden Intelligenz zu meistern sind. Vielmehr spielen Lebenserfahrung, Urteilsfähigkeit und Weisheit – die kristalline Pragmatik – auch

außerhalb der Gerichte eine große und wachsende Rolle. Die kristalline Pragmatik jedoch fällt nicht mit dem Alter, sondern ist bei Älteren tendenziell höher als bei jugendlichen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern. Deshalb bewirken Ältere eine stärkere qualitative Performance in den Gerichten, aber vermutlich auch in den Unternehmen. Diese müssen daher nicht weniger wettbewerbsfähig werden, wenn sie mehr Ältere beschäftigen – sofern sie sich auf komplexe, innovative Branchen konzentrieren und sofern sie die Nachteile der Älteren bei der quantitativen Performance ausgleichen. Hierzu wäre der Abschied vom Stereotyp des alten Eisens ein erster Schritt.

### Literatur

BACKES-GELLNER, U., SCHNEIDER, M., ECONOMIC CRISES AND THE ELDERLY, GERONTOLOGY (IM ERSCHEINEN, ONLINE DOI: 10.1159/000330065).

BACKES-GELLNER, U., SCHNEIDER, M., VEEN, S., EFFECT OF WORKFORCE AGE ON QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ORGANIZATIONAL PERFORMANCE: CONCEPTUAL FRAMEWORK AND CASE STUDY EVIDENCE, ORGANIZATION STUDIES 32(2011), 1103-1121.

BACKES-GELLNER, U., VEEN, S., THE IMPACT OF AGING AND AGE DIVERSITY ON COMPANY PERFORMANCE. SSRN DISCUSSION PAPER 1346895, 2009.

BALTES, P.B., FREUND, A., LI, S., THE PSYCHOLOGICAL SCIENCE OF HUMAN AGEING. IN JOHNSON, M.L. (ED.), CAMBRIDGE HANDBOOK OF AGE AND AGEING (PP. 47-71) CAMBRIDGE: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2005.

NG, T.W.G., FELDMAN, D.C., THE RELATIONSHIP OF AGE TO TEN DIMENSIONS OF JOB PERFORMANCE. JOURNAL OF APPLIED PSYCHOLOGY, 93(2008), 392-423.

POSNER, R.A., AGING AND OLD AGE, 1995.

ROHWEDDER, S., WILLIS, R., MENTAL RETIREMENT. JOURNAL OF ECONOMIC PERSPECTIVES, 24(2010), 119-138.



**Prof. Dr. Uschi Backes-Gellner** ist Inhaberin des Lehrstuhls für Empirical Research in Business, Industrial Relations and Human Resource Management an der Universität Zürich und Leiterin des Swiss Leading House Economics of Education. Ihre Forschungsinteressen liegen in Themen der Personalökonomie, insbesondere Aus- und Weiterbildung, Anreizen, Altern und Entrepreneurship.

#### Kontakt:

**Martin Schneider**

**Fakultät für Wirtschaftswissenschaften**

**Department Management**

**05251 60-2929**

**Martin.Schneider@notes.upb.de**

# Verbraucherrisiken durch Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft?

## Forschung im Rahmen der Deutschen Antibiotika-Resistenzstrategie (DART)

Prof. Dr. Manfred Grote, Dr. Didem Hanim Meriç, Dr. Henning Stevens,  
Staatl. gepr. LM-Chem. Farzana Chowdhury, M. Sc. Inga Michels

Zur Bekämpfung bakterieller Infektionskrankheiten von Mensch und Tier sind in den letzten 70 Jahren bahnbrechende Fortschritte durch die Anwendung antibakterieller Wirkstoffe (Antibiotika) erzielt worden. Seit einigen Jahrzehnten wird jedoch weltweit eine drastische Zunahme an pathogenen (krankheitserregenden) Bakterien beobachtet, die gegen Antibiotika resistent sind, da sie effektive Schutzmechanismen entwickelt haben. Als Konsequenz sind inzwischen sowohl in der Human- als auch in der Veterinärmedizin zahlreiche Antibiotika bei der Behandlung von Infektionen unwirksam geworden. Da gegenwärtig nur eine geringe Anzahl neuartiger antibiotisch wirksamer Medikamente entwickelt und zugelassen wird, stellt die Zunahme der Resistenzen gegen die traditionellen Antibiotikagruppen ein ernsthaftes Problem für das Gesundheitswesen dar. Denn Infektionen, die von resistenten Keimen verursacht werden, sind schwierig zu therapieren, verlängern die Behandlungsdauer und haben eine erhöhte Mortalität sowie höhere Behandlungskosten zur Folge. Jedes Jahr erkranken in Deutschland zwischen 400 000 und 600 000 Patienten an Infektionen, die während eines Krankenhausaufenthalts erworben worden sind, so genannten „Nosokomial-Infektionen“. Zunehmend werden durch resistente Erreger verursachte Infektionen auch ambulant erworben [1].

Besonders gefürchtet sind seit den 1960er-Jahren schwere Infektionen, u.a. von Knochen, Haut und Wunden, durch Methicillin-resistente Stämme des *Staphylococcus aureus* (MRSA; Methicillin ist chemisch verwandt mit Penicillin). Seit dieser Zeit weisen Staphylokokken-Stämme Multiresistenzen gegenüber allen wichtigen Antibiotikaklassen auf, wie z. B. Sulfonamide, Tetracycline, Fluorchinolone und Beta-Lactame (z. B. Penicilline). In der Folge treten in Europa pro Jahr schätzungsweise 171 000 Nosokomial-Infektionen und mehr als 5 000 Todesfälle durch multiresistente MRSA auf. Nach aktuellen Angaben der Weltgesundheitsorganisation WHO sterben jedes Jahr in Europa circa 25 000 Menschen an einer Infektion mit multiresistenten Bakterien. In den USA verstarben im Jahr 2005 etwa 18 600 Menschen an einer MRSA-Infektion – und damit mehr als an Aids. Besorgnis erregend ist auch die Zunahme antibiotikaresistenter pathogener Enterobakterien. Nichtpathogene Stämme dieser Bakteriengruppe sind Bestandteil der Darmflora von Mensch und Tier, wie *Escherichia coli* (*E. coli*) und Salmonellen-Stämme (*Salmonella enterica*). Aber einige Bakterienspezies mit pathogenen Eigenschaften, die auch in Boden, Wasser und



Prof. Dr. rer. nat. Manfred Grote ist seit 1997 Hochschullehrer für das Fach Analytische Chemie. Im Forschungsschwerpunkt „Analytik im Gesundheitlichen Verbraucherschutz“ stehen Untersuchungen zur Belastung von landwirtschaftlich genutzten Böden, Nutzpflanzen und Lebensmitteln durch Rückstände von Veterinärantibiotika und den damit verbundenen Verbraucherrisiken, insbesondere durch Resistenzbildung. Er ist Projektleiter eines BMBF gefördernten Forschungsvorhabens im Rahmen des Verbundprojektes RESET.

in Nahrungsmitteln tierischen und pflanzlichen Ursprungs vorkommen können, verursachen Infektionen, die u.a. zu Durchfallerkrankungen führen. Besonders aggressiv und gefährlich sind *Enterohämorrhagische E. coli*-Bakterien (EHEC), die im Mai 2011 in Deutschland und Frankreich einen EHEC-Ausbruch auslösten, mit hoher Wahrscheinlichkeit – nach Angaben des Bundesinstitutes für Risikobewertung, BfR – durch Bockshornkleesamen, der aus Ägypten importiert worden war.

Das weltweit gestiegene Risiko der Resistenzbildung von humanpathogenen Mikroorganismen wird mit dem extensiven Antibiotika-Einsatz in der Tiermast in Verbindung gebracht. Neben ihrer Bedeutung als Erreger von Infektionen des Menschen, werden MRSA und andere resistente Bakterienstämme zunehmend in landwirtschaftlichen Nutztieren (z. B. Schweinen, Rindern, Geflügel) nachgewiesen. Aus diesem Reservoir kann es zu direkten Übertragungen von Infektionen zwischen Tier und Mensch (Zoonosen) kommen. Bei exponierten Landwirten, Veterinären und Schlachthofpersonal wurden bereits hohe Besiedlungsraten von 23 Prozent bis 80 Prozent festgestellt. Aber auch Lebensmittel tierischer Herkunft wie Geflügelprodukte und rohe Milch, die mit Salmonellen und *Campylobacter* (Stäbchen-Bakterien) kontaminiert sind, lösen gegenwärtig in Deutschland die meisten Durchfallerkrankungen aus, circa 115 000 in den Jahren 2007 und 2008 [2, 3].

### DART – Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie

Die Zunahme antimikrobieller Resistenzen bei Bakterien stellt das Gesundheitswesen weltweit vor eine große Herausforderung. Daher hat die WHO die bakterielle Resistenz zum Thema des Weltgesundheitstages am 7. April 2011



Foto: M. Grote

Abb. 1: Industrielle Tierproduktion – Schweinemast.

gemacht. Die zentrale Auftaktveranstaltung der Bundesregierung in Berlin wurde unter folgendem Motto eröffnet: „DART – gemeinsam Antibiotika-Resistenzen verhüten und bekämpfen“. Mit der Deutschen Antibiotika-Resistenzstrategie DART veröffentlichte die Bundesregierung im November 2008 ein Konzept, dessen zentrales Ziel die Reduzierung der Bildung und Ausbreitung von Antibiotika-Resistenzen in Deutschland ist [1]. Die Hauptursache für die Zunahme von Antibiotika-Resistenzen in der Humanmedizin sind die unsachgemäße Verordnung und Anwendung von Antibiotika sowie Mängel in der Hygiene. Aber auch in der Veterinärmedizin – insbesondere im Bereich der Massentierhaltung – kommt der sachgerechten Verordnung von Antibiotika eine entscheidende Rolle zu, um die Einträge von Antibiotika und resistenten Krankheitskeimen durch Tierexkremate (Gülle) in Umwelt und Nahrungsmittelkette zu vermindern. Zur Erfassung der Verbreitung von Antibiotika-Resistenzen und des Antibiotika-Verbrauchs werden mit DART Überwachungssysteme aus- und aufgebaut, Maßnahmen zur Verhütung und Bekämpfung intensiviert sowie regionale, nationale und internationale Kooperationen interdisziplinär gefördert. Rund 80 Millionen Euro stellt das BMBF zur Erforschung der Antibiotika-Resistenzen von 2008 bis 2014 zur Verfügung. An den beiden Verbund-Projekten MedVet-Staph und RESET (s. u.) ist die Universität Paderborn beteiligt. Der BMBF-Forschungsverbund MedVet-Staph beschäftigt sich mit dem Auftreten und der Verbreitung von *S. aureus* Bakterien, insbesondere mit MRSA, als zoonotische Erreger. Dabei sind MRSA-besiedelte Stallstäube auch als Eintragsquelle antimikrobiell wirksamer Stoffe für Tier und Mensch anzusehen. Von Paderborner Analytikern wird deshalb in Nutztierställen mit hohem Schweinebesatz die Belastung luftgetragener Partikel („Stallstäube“) durch antimikrobiell wirksame Stoffe ermittelt, um gegebenenfalls Zusammenhänge mit der MRSA-Besiedlung und Ausbreitung zu erkennen.

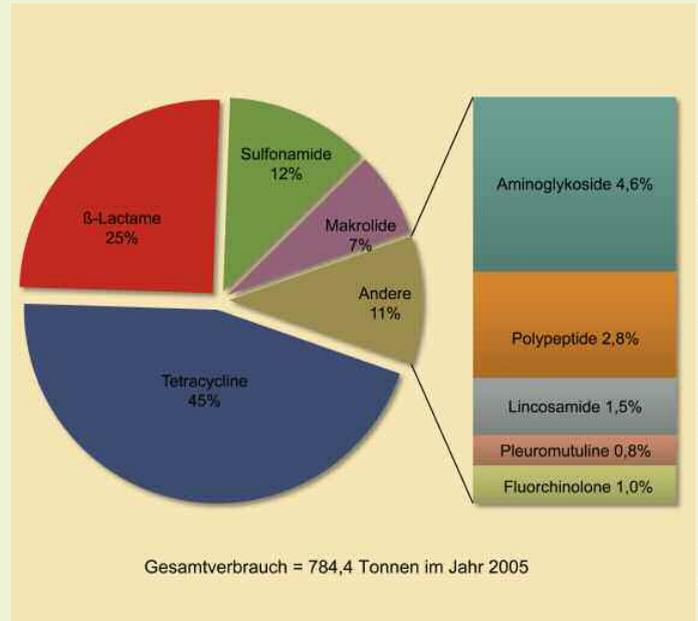


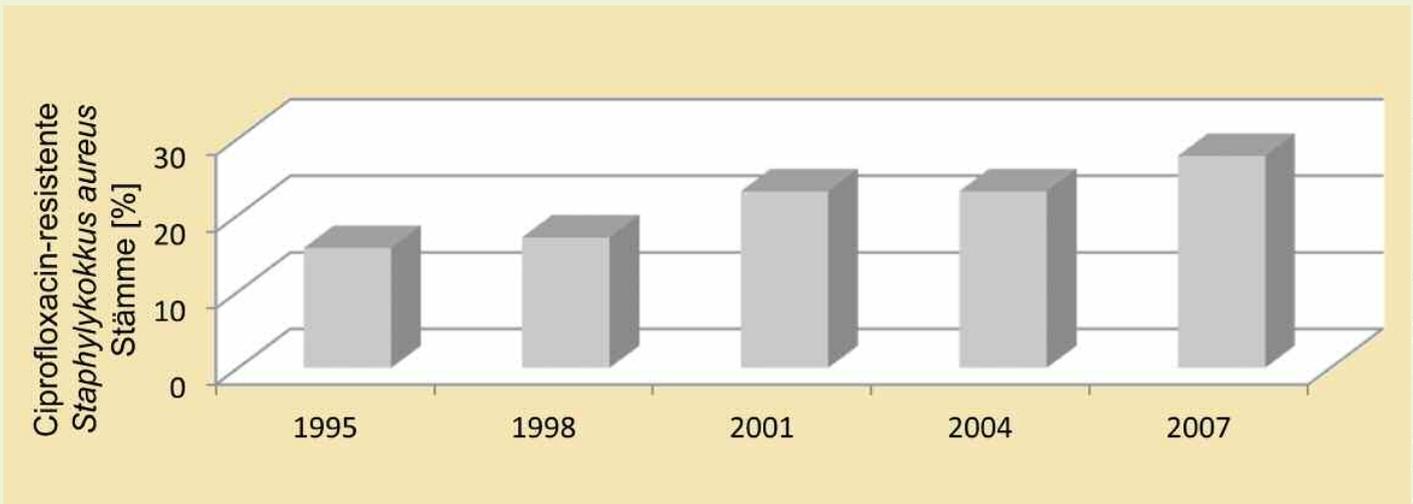
Abb. 2: Relative Einsatzmengen von Veterinärantibiotika in Deutschland im Jahr 2005.

### Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft

Lange Zeit wurde der mögliche Beitrag der Landwirtschaft bei der Entstehung und Verbreitung antibiotischer Resistenzen kaum beachtet. Im Fokus steht dabei die intensive Nutztierhaltung („industrielle Tierproduktion“), insbesondere von Schwein (Abbildung 1) und Geflügel. In Deutschland fallen jährlich circa 30 Millionen Tonnen an tierischen Exkrementen an, überwiegend Schweinegülle, die regional in viehstarken Gebieten vermehrt anfällt. Über die Gülle, genutzt als Wirtschaftsdünger, gelangen die von den Tieren nach Anwendung ausgeschiedenen Antibiotika-Wirkstoffe und ihre Umwandlungsprodukte (Metaboliten) auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen. Mit dem Eintrag resistenter Mikroorganismen in den Boden bildet sich ein Reservoir an Resistenzgenen, das auch die Ressource Grundwasser gefährdet. Am Beispiel der Antibiotikagruppe der Tetracycline wurde erkannt, dass nicht nur die über Gülle in den Boden eingetragenen ursprünglichen Wirkstoffe, sondern auch die zahlreichen Umwandlungs- und Abbauprodukte unterschiedliche Wechselwirkungen mit Bakterien eingehen, die zur Resistenzbildung beitragen können. Die Effekte dieser Stoffe in subinhibitorischen Konzentrationsbereichen (also unterhalb der wirksamen, Selektionsdruck erzeugenden Minimalen Hemmstoffkonzentration, MHK) finden inzwischen besondere Beachtung bei der Risikobewertung Antibiotika-belasteter Futter- und Nahrungsmittel tierischen und pflanzlichen Ursprungs.

Die Datenlage zu Produktion, Einsatzgebieten und Verbrauch von Antibiotika beruht national sowie auf europäischer Ebene überwiegend auf freiwilligen Angaben der Hersteller und Lebensmittelproduzenten. Die FEDESA (Federation Européenne de la Santé Animale, Europäischer Dachverband der Tierarzneimittelindustrie) hat im Rahmen einer Erhebung das europaweite Verkaufsvolumen von Antibiotika für das Jahr 1997 ermittelt. Danach wurden in der Humanme-

Quelle: Dissertation D. H. Meriç, Universität Paderborn 2010



Quelle: Dissertation F. Chowdhury, Universität Paderborn

Abb. 3: Resistenzentwicklung von *Staphylokokkus aureus* gegen Ciprofloxacin (1995-2007).

dizin 5 400 Tonnen, in der Veterinärmedizin 3 494 Tonnen und in der Landwirtschaft (Nutztierhaltung) 1 599 Tonnen Antibiotika als „Leistungsförderer“ (s. u.) angewendet. Erhebungen auf nationaler Ebene in Schweden, Dänemark und den Niederlanden (MARAN 2009) spiegeln den Trend wider, dass der Verbrauch an Veterinärantibiotika stetig zunimmt. Für Deutschland wurde für das Jahr 2005 der veterinärmedizinische Antibiotikaeinsatz nach Angaben der Pharmaindustrie auf 784 Tonnen geschätzt [4]. Mit einem Anteil von circa 44,6 Prozent erreichen Tetracycline, die für Schwein, Rind und Geflügel eingesetzt werden, die höchsten Verkaufszahlen, gefolgt von Beta-Lactamen (25,4 Prozent), Sulfonamiden (12,4 Prozent) und Makroliden (6,7 Prozent). Deutlich niedriger ist der Verbrauch an Fluorchinolonen mit nur 1 Prozent (Abbildung 2). Im Unterschied zur o. a. Schätzung kommt eine vom Umweltbundesamt (UBA) durchgeführte Hochrechnung auf jährlich 2 127 Tonnen Antibiotika, die damit erheblich höher liegt.

In dem vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), der Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie und der Infektiologie Freiburg herausgegebenen Bericht GERMAP 2008 [4] werden sowohl der Antibiotikaverbrauch als auch die Verbreitung von Resistenzen in der Human- und Veterinärmedizin der letzten Jahre in Deutschland dargestellt. Abbildung 3 demonstriert die erhebliche Zunahme von *S. aureus*-Stämmen, die gegen Ciprofloxacin, einem Fluorchinolon-Antibiotikum, resistent sind. In der Veterinärmedizin sind die Resistenzhäufigkeiten der verschiedenen Bakterienstämme abhängig vom eingesetzten Antibiotikum, von der jeweiligen (Lebensmittel liefernden) Tierart und den Haltungsformen wie z. B. Einzel- und Gruppenhaltung und Haltungsbedingungen (Einhaltung von Hygienestandards!). Insgesamt ist aber die zur Verfügung stehende Datenbasis noch zu gering, um verlässliche Risikoabschätzungen im Rahmen eines vorsorgenden Verbraucherschutzes zu ermöglichen, was den akuten Informations- und Forschungsbedarf verdeutlicht.

Bereits Anfang der 1960er-Jahre wurde vor einer Entwicklung gewarnt, die inzwischen Realität geworden ist: Die hohen Antibiotika-Einsatzmengen in der Landwirtschaft begünsti-

gen signifikant die Verbreitung resistenter Keime in Europa und den USA. Als dramatisches Beispiel ist anzuführen, dass im Jahre 2005 in den USA die Anwendung von Enrofloxacin, das zur Wirkstoffgruppe der humanmedizinisch bedeutsamen Antibiotikagruppe der Fluorchinolone gehört, in der Geflügelzucht verboten wurde, da sich die Anzahl nicht-therapierbarer Salmonella-Infektionen bei Heimbewohnern und Klinikpatienten drastisch erhöht hatte. Ungenügend erhitze, mit resistenten Keimen belastete Geflügelgerichte waren die Quelle dieses Ausbruchs.

Als weitere Konsequenz gilt das seit Januar 2006 bestehende EU-weite Verbot, Antibiotika bei der intensiven Tierhaltung dem Futter in geringen „subtherapeutischen“ Mengen (<100 mg/kg Futter, abhängig vom Wirkstoff) zuzugeben. Diese Zusätze dienen der so genannten „Leistungsförderung“, d. h. einer verbesserten Futtermittelverwertung bei der Produktion von Geflügel-, Rind- und Schweinefleisch. Ein geringerer Futtermittelverbrauch pro Kilogramm Gewichtszuwachs des Tieres und ein schnelleres Erreichen des Schlachtgewichtes mit niedrigeren Kosten für Futtermittel waren die Folge – aber auch eine bedrohliche Zunahme an resistenten

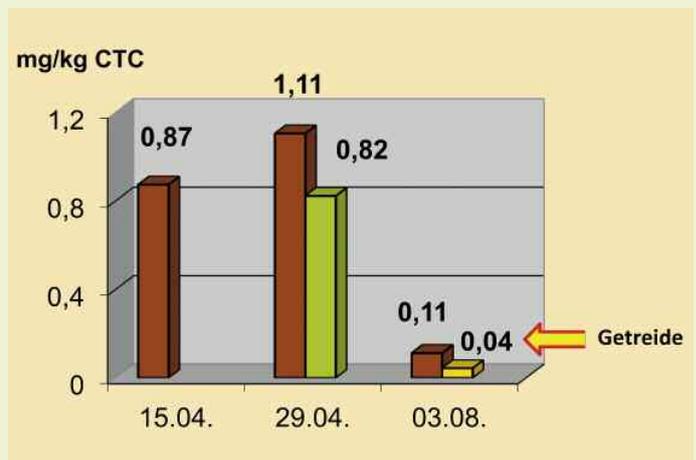


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Chlortetracyclin (CTC)-Gehalte in Weizenpflanzen: in der Wurzel (braune Säulen), Stängeln und Blättern (grüne Säule) und im Getreidekorn (gelbe Säule) des Winterweizens (Modell-Feldversuch mit antibiotikahaltiger Schweinegülle: 2. Begüllung am 15. April, Beerntung am 03. August 2002) [5].

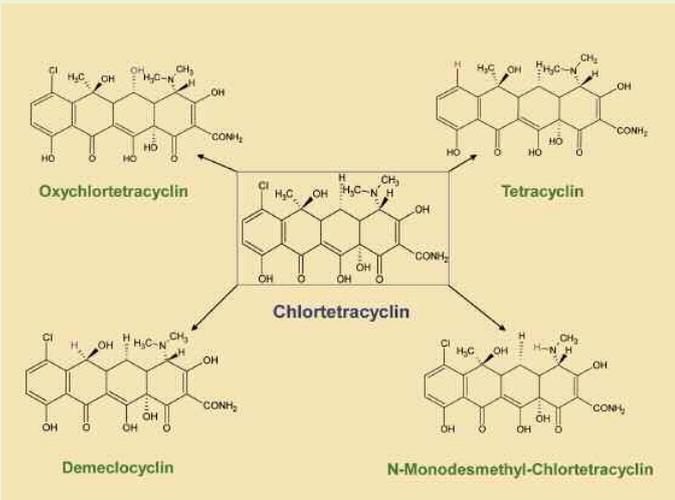


Abb. 5: Umwandlungsprodukte (Metaboliten) des Antibiotikums Chlortetracyclin, die in Nutzpflanzen nachgewiesen wurden [6, 7].

humanpathogenen Keimen. Daher dürfen seit dem 1. Januar 2006 Veterinärantibiotika nur noch nach tierärztlicher Verschreibung auf Grundlage des Arzneimittelrechtes zur Therapie von Infektionskrankheiten und prophylaktisch bei chirurgischen Maßnahmen angewendet werden – aber ebenso zur „Metaphylaxe“. Das bedeutet, dass bei der Erkrankung nur weniger Tiere eines Stalles der gesamte Tierbesatz mit Antibiotika versorgt werden kann – und dass Geflügelhalter für mehrere Zehntausend Hühner das Trinkwasser mit antibiotischen Wirkstoffen „metaphylaktisch“ versetzen. Konsequenzen aus der Verbreitung von Resistenzen durch massiven Antibiotika-Einsatz in der Landwirtschaft ergaben sich außerdem für die Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP), die bestimmte Antibiotika-Resistenzgene als Marker tragen. Diese wurde bereits im Oktober 2002 gemäß einer EU-Freisetzung-Richtlinie und mit dem Gentechnik-Gesetz vom 1. Mai 2008 eingeschränkt, da die Möglichkeit eines horizontalen Gentransfers von Pflanzenzellen auf Bakterien in der Umwelt und auf Darmbakterien nicht ausgeschlossen werden konnte. Da zur Selektion der GVP Antibiotika eingesetzt werden, wurde deutlich, dass zumindest unter *in vitro*-Bedingungen (also Laborbedingungen) eine Aufnahme dieser Pharmaka in die pflanzliche Zelle von Nutzpflanzen erfolgt. Antibiotika können aber auch aus Gülle gedüngten Böden, also unter *in vivo*-Bedingungen, über die Wurzel von Nutzpflanzen aufgenommen werden. Dieses belegten erstmals im Jahr 2005 die Ergebnisse einer Modellstudie der Universität Paderborn, die unter praxisnahen Bedingungen in Kooperation mit der FH Südwestfalen, Abteilung Soest, durchgeführt wurde [5].

**Modellstudie: Antibiotika-Aufnahme von Salat und Getreidepflanzen (2002-2005)**

Der generelle Ablauf der Studie bestand darin, kontrolliert Arzneistoff belastete Schweinegülle auf Versuchsfelder auszubringen, Nutzpflanzen auszusäen und zu beernten. Zur Gewinnung der belasteten Gülle wurden arzneimittelfrei aufgezogene Ferkel über das Trockenfutter oral medikamentiert. Hierbei wurden in einer maximal üblichen therapeuti-

schen Dosis Sulfadiazin (SFD) kombiniert mit Trimethoprim (TMP) und Chlortetracyclin (CTC) verabreicht. Die Gülle wurde bis zu acht Monate gelagert und dann zur ein- und zweimaligen Düngung von Feldsalat und Winterweizen auf die Versuchsfelder ausgebracht. Gülle und Boden aus unterschiedlichen Horizonten sowie Pflanzen in verschiedenen Wachstumsstadien wurden bis zur Erntereife beprobt und auf Antibiotikarückstände analysiert. Dazu war es notwendig, empfindliche und zuverlässige spurenanalytische Nachweisverfahren zu entwickeln unter Anwendung moderner Kopplungsmethoden, wie die dazu eingesetzte HPLC-MS/MS (Hochleistungsflüssigchromatographie, HPLC, online gekoppelt mit der Massenspektrometrie, MS).

In der Gülle waren noch nach acht monatiger Lagerung hohe Konzentrationen (circa 30-100 mg/kg) an den Wirkstoffen CTC und SFD nachweisbar, aber auch von den Ferkeln ausgeschiedene Metabolite und zahlreiche Umwandlungs- sowie Abbauprodukte. Während der Lagerung hatte also nur ein begrenzter Abbau der ausgeschiedenen Arzneistoffe stattgefunden. Deshalb wurden bei den Feldversuchen durch die Beaufschlagung mit der belasteten Gülle erhebliche Antibiotika-Mengen ausgetragen. Antibiotikarückstände ließen sich im Oberboden bis zu einer Tiefe von 25 cm, also im Pflugbereich, nachweisen, in tieferen Schichten aber nicht, und zwar maximal 240 µg/kg Trockenmasse (TM) Chlortetracyclin und max. 90 µg/kg TM an SFD. Bereits die einmalige Düngung des ursprünglich unbelasteten Bodens mit Antibiotika haltiger Gülle bewirkte eine über mehrere Monate nachweisbare Kontamination der oberen Bodenschichten, die sich nach der zweiten Begüllung deutlich erhöhte. Die Bioverfügbarkeit der applizierten Veterinärpharmaka zeigt sich darin, dass Feldsalat und Winterweizen aus den organisch gedüngten Böden das Sulfadiazin und Chlortetracyclin über die Wurzel aufgenommen haben und diese in den Pflanzen transportiert wurden. Bei den Getreidepflanzen ließ sich die

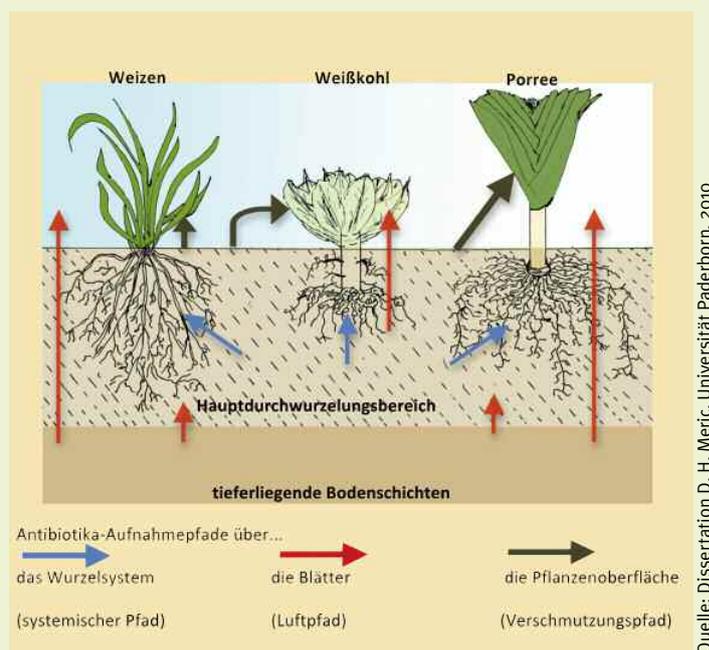


Abb. 6: Schematische Darstellung der Aufnahmepfade von Antibiotika in Gemüsepflanzen, so genannte Starkzehrer.

Quelle: Dissertation D. H. Merzig, Universität Paderborn, 2010



Abb. 7 a-c: Anbau von Rotkohl auf Versuchsfeldern, die mit Antibiotika dotierter Schweinegülle gedüngt worden waren (Aufnahmezeitpunkt: Mai 2010, a) Zubereitung Antibiotika dotierter Schweinegülle vor den Versuchsfeldern (links: Güllebehälter),



b) Ausbringung der Antibiotika dotierten Schweinegülle mit Gießkannen auf die Versuchsfelder,

Fotos: M. Grote

Veränderung der SFD und CTC-Gehalte in Wurzeln und Grünanteilen bis zur Erntereife zeitlich verfolgen (Abbildung 4). Im Korn von zweimalig mit Gülle gedüngten Winterweizenfeldern wurden 44 µg/kg Frischgewicht (FG) an CTC nachgewiesen. Untersuchungen internationaler Forschergruppen zur Antibiotika-Aufnahme von Nutzpflanzen unter Gewächshausbedingungen belegen ebenfalls das relativ hohe Aufnahmepotenzial für Tetracycline.

Die Ergebnisse der Modellstudie sind als Hinweis auf den Eintragspfad von Antibiotika-Rückständen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung in pflanzliche Lebens- und Futtermittel zu werten. Ständige Einträge geringer Antibiotikamengen über belastete Nutzpflanzen in die Futtermittel- und Nahrungsmittelkette sind im Hinblick auf die zunehmende Resistenzproblematik als sehr kritisch zu bewerten. Deshalb wurden im Rahmen einer Screening-Studie Winterweizen, Gerste und Triticale (eine Kreuzung aus Weizen und Roggen), die in Regionen Nordrhein-Westfalens und Niedersachsens mit intensiver Schweinehaltung angebaut worden waren, auf Antibiotikarückstände analysiert [6].

### Getreidescreening in viehstarken Gebieten (2006-2007)

Mit Unterstützung der Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen wurden 2005 und 2006 in den Kreisen Borken, Coesfeld und Warendorf sowie der Grafschaft Bentheim während der laufenden Ernte Boden- und Getreideproben gezogen. Die Analyse des Getreides der Ernte 2005 führte zu positiven Befunden u. a. für Chlortetracyclin, Tetracyclin, Iso-Chlortetracyclin und Demeclocyclin (Abbildung 5). In einigen Getreideproben wurden Tetracyclin-Gehalte zwischen 30 und 95 µg/kg FG ermittelt. Auffällig war der relativ hohe Gehalt eines Winterweizens an Demeclocyclin (60 µg/kg FG), einem nicht zugelassenen Wirkstoff. Die Ursache dieses Befundes blieb ungeklärt. Nur in wenigen Fällen ergab sich ein Zusammenhang zwischen den Tetracyclin-Gehalten in Boden und Korn und den von den

Betriebsleitern angegebenen Antibiotika-Anwendungen in den jeweiligen Viehbeständen. Im Unterschied zur Ernte des Vorjahres aus Nordrhein-Westfalen, wurden im Getreide des Jahres 2006, das durch extreme Trockenheit während der Wachstumsperiode gekennzeichnet ist, keine weiteren Tetracycline nachgewiesen. Nur in zwei Proben aus Niedersachsen gab es einen Befund für Doxycyclin. Die Ergebnisse des Getreidescreenings lassen vermuten, dass die Aufnahme an Antibiotika in Getreide von der Witterung, der Bodenart und von der Höhe der Bodenbelastung während des Pflanzenwachstums mitbestimmt wird. Ein intensiver und langdauernder Einsatz von Tetracyclinen in der landwirtschaftlichen Praxis in viehstarken Gebieten begünstigt zweifellos den Transfer vom Boden in die Pflanze [6].

### Antibiotika-Aufnahme von Gemüse (2007-2011)

In der Landwirtschaft werden als Wirtschaftsdünger neben der Schweinegülle ebenfalls tierische Ausscheidungen aus der Geflügelhaltung (z. B. Hühner- und Putenmist, Hühner-trockenkot, Flüssigdünger) eingesetzt. Ein wichtiger Anwendungsbereich ist dabei der Gemüseanbau. Das Aufnahmevermögen für Veterinärantibiotika könnte bei Gemüsearten hoch sein, die große Nährstoffmengen über die Wurzel aus dem Boden herausholen („Starkzehrer“, wie z. B. Kohlsorten und Porree) und zudem relativ lange Wachstumszeiten benötigen (Abbildung 6). Tatsächlich zeigten Weißkohl und Porree bei Experimenten in Hydrokultur, deren Nährlösung mit Antibiotika dotiert worden waren, ein enormes Aufnahme- und Transportpotenzial, insbesondere für Enrofloxacin und für Tetracycline [7]. Erkennbare Wirkungen der Antibiotikaaufnahme waren besonders ausgeprägt beim Weißkohl – sie reichten von gelblichen Verfärbungen der Leitbahnen bis zum Ausbleichen der Blätter und schließlich zum Welken. In einem weiteren Projekt der Universität Paderborn in Kooperation mit der Lebensmittel erzeugenden Industrie, wurde beim Rotkohl in Hydrokultur ein ähnliches Aufnahme-



c) Pflanzung der Rotkohljungpflanzen mit Hilfe einer Pflanzmaschine.

verhalten erkannt: Blätter enthielten 215 µg/kg FG Chlortetracyclin, die Wurzeln sogar bis zu 60 mg/kg FG. Komponenten anderer Wirkstoffgruppen (Sulfonamide, Fluorchinolone, Makrolide, β-Lactame) wurden in geringeren Mengen aufgenommen, teilweise unter chemischer Umwandlung (Metabolisierung). Von erntefrischem bis zum verarbeiteten Industrie-Rotkohl wurde ein Stufenkontrollplan aufgestellt und Belastungsprofile erstellt. Dabei ergaben sich Positivbefunde an antibiotisch-aktiven Substanzen in erntefrischem Rotkohl. Zusätzlich wurde in einem Feldversuch Rotkohl auf Versuchspartellen angebaut, die mit Antibiotika dotierter Gülle gedüngt wurden (Abbildung 7 a-c), um weitere Informationen über Einflussfaktoren auf die Bioverfügbarkeit Boden gebundener Antibiotika zu erhalten [8]. Auf Grund der vorgefundenen Belastungen ist die Annahme berechtigt, dass im Vergleich zum Getreide verschiedenen Gemüsesorten eine besondere Belastungsrelevanz zukommt. In diesem Zusammenhang ist eine im Jahr 2008 veröffentlichte Beobachtung von besonderer Bedeutung: In Pflanzenwurzeln der Acker-Schmalwand (*Arabidopsis thaliana*, eine Modellpflanze in der Pflanzenforschung) wurden vermehrungsfähige Salmonellen (*Salmonella typhimurium*) entdeckt. Der dadurch mögliche kombinierte Eintrag von pathogenen Keimen und antibiotisch wirksamen Stoffen in die Nahrungsmittelkette über Nutzpflanzen könnte das Risikopotenzial für die Verbraucher noch verstärken.

#### **FAZIT – Forschungsverbund RESET (2010-2013)**

Als Konsequenz aus den beschriebenen rückstandsanalytischen und mikrobiologischen Befunden sowie der zuneh-

menden Brisanz der Resistenzlage sind Strategien und interdisziplinäre Forschungsansätze zu entwickeln, die zu einem nachhaltigeren Einsatz von Veterinärantibiotika in der Landwirtschaft führen, mit dem Ziel der Resistenzprävention. Dazu soll die im Jahr 2010 überarbeitete „Antibiotikaleitlinie“ der deutschen Tierärzteschaft einen Beitrag leisten. Das vom BMBF geförderte interdisziplinäre Verbundprojekt RESET verfolgt derartige Ziele als Beitrag zur Deutschen Antibiotika-Resistenz-Strategie DART – und der Initiative „Forschung für unsere Gesundheit“ im Wissenschaftsjahr 2011 ([www.forschung-fuer-unsere-gesundheit.de](http://www.forschung-fuer-unsere-gesundheit.de)). In dem auf drei Jahre angelegten Forschungsverbund RESET („Resistance in Enterobacteriaceae“, [www.reset-verbund.de](http://www.reset-verbund.de)) erforschen seit November 2010 Wissenschaftler aus der Human- und Veterinärmedizin, der Mikrobiologie, Agrarwissenschaft und Analytischen Chemie die Entstehung und Verbreitung der Antibiotikaresistenzen bei Enterobakterien (Darmbakterien *E. coli* und *Salmonella enterica*). Koordiniert wird der Verbund, an dem die Universität Paderborn beteiligt ist, von der Tierärztlichen Hochschule Hannover. Weitere Partner sind u. a. das Bundesinstitut für Risikobewertung (Berlin), die Charité-Universitätsmedizin Berlin, die FU Berlin, das Friedrich-Loeffler Institut in Neustadt-Mariensee und das Robert Koch-Institut in Wernigerode.

Der Verbund hat sich zum Ziel gesetzt, ein umfassendes Bild zur Resistenzlage der untersuchten Erreger zu zeichnen. Dazu werden epidemiologische Studien zum Vorkommen resistenter Erreger in Tier, Mensch und Umwelt mit grundlagenorientierten Studien, die die Resistenzeigenschaften und Übertragungsmechanismen charakterisieren, kombiniert. In dem Teilprojekt „Aufnahme antimikrobiell wirkender Stoffe

in Gemüse aus Gülle gedüngtem Boden und mikrobiologische Effekte“ führt die Universität Paderborn in Kooperation mit der FH Südwestfalen Anbauversuche mit Weißkohl und Porree durch. Als Dünger werden tierische Exkremente aus der Schweine- und Geflügelhaltung eingesetzt, die mit Tetracyclin, Enrofloxacin oder Amoxicillin (ein Beta-Lactam) und *E. coli* Bakterien dotiert wurden. Die Rückstandsanalysen der Gemüse aus diesen Feldversuchen und aus deutschlandweitem konventionellem Anbau werden ergänzt durch bakteriologische Untersuchungen auf resistente Enterobakterien durch die FU Berlin. Es werden neue Erkenntnisse über die Antibiotika-Exposition von Verbrauchern durch Lebensmittel pflanzlicher Herkunft, der Entstehung und Ausbreitung von Resistenzen sowie der Risikobewertung erwartet. Die EHEC-Ausbrüche im letzten Jahr und die Entdeckung resistenter Bakterienstämme in Gemüse aus ökologischem Anbau in den Niederlanden unterstreichen die Dringlichkeit derartiger fachübergreifender Studien, ganz im Sinne eines vorbeugenden gesundheitlichen Verbraucherschutzes.

#### Literatur

- [1] BMG, BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT (HRSG.) (11/2008): DART – DEUTSCHE ANTIBIOTIKA-RESISTENZSTRATEGIE. BMG-G-07014, BERLIN 2011.
- [2] GSF-FORSCHUNGSZENTRUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (HRSG.) KOMMUNIKATION FLUGS-FACHINFORMATIONSDIENST. ANTIBIOTIKA UND ANTIBIOTIKARESISTENZEN. NEUHERBERG: 1-14 (2007).
- [3] BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG: A. SCHROETER UND A. KÄSBOHRER (HRSG.), DEUTSCHE ANTIBIOTIKA-RESISTENZSITUATION IN DER LEBENSMITTELKETTE – DARLINK, SALMONELLA 2000–2008, BERLIN 2010 (BfR-WISSENSCHAFT 12/2010).
- [4] BVL, BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (HRSG.) (10/2008): GERMAP 2008. ANTIBIOTIKA-RESISTENZ UND-VERBRAUCH. ANTIINFECTIVES INTELLIGENCE, GESELLSCHAFT FÜR KLINISCH-MIKROBIOLOGISCHE FORSCHUNG UND KOMMUNIKATION MBH, RHEINBACH.
- [5] M. GROTE, C. SCHWAKE-ANDUSCHUS, R. MICHEL, H. STEVENS, W. HEYSER, G. LANGENKÄMPER, T. BETSCHE, M. FREITAG, INCORPORATION OF VETERINARY ANTIBIOTICS INTO CROPS FROM MANURED SOIL. LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE – FAL AGRICULTURAL RESEARCH, 57 (1) 25-32 (2007).
- [6] M. FREITAG, D. H. YOLCU, H. HAYEN, T. BETSCHE, M. GROTE, SCREENING ZUM ANTIBIOTIKA-TRANSFER AUS DEM BODEN IN GETREIDE IN REGIONEN NORDRHEIN-WESTFALENS MIT GROSSEN VIEHBESTÄNDEN, JOURNAL FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 3 (2008): 174-184.
- [7] M. GROTE, D. H. MERIÇ, G. LANGENKÄMPER, H. HAYEN, T. BETSCHE, M. FREITAG, UNTERSUCHUNGEN ZUM TRANSFER PHARMAKOLOGISCH WIRKSAMER SUBSTANZEN AUS DER NUTZTIERHALTUNG IN PORREE UND WEISSKOHL, JOURNAL FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 4, 287-304 (2009).
- [8] F. CHOWDHURY, G. LANGENKÄMPER, C. SPRENGER, M. GROTE, UNTERSUCHUNGEN ZUR ANTIBIOTIKA-KONTAMINATION VERZEHRSTARKER GEMÜSE DURCH WIRTSCHAFTSDÜN-

GER, 39. DEUTSCHER LEBENSMITTELHEMIKERTAG 2010, STUTTGART-HOHENHEIM, 20.-22. SEPTEMBER 2010; TAGUNGSBAND S. 53.



**Farzana Chowdhury**, Staatl. gepr. LM-Chem., ist seit Januar 2009 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet „Analytische Chemie im Gesundheitlichen Verbraucherschutz“. Nach dem Studium der Lebensmittelchemie an der WWU Münster und Tätigkeit als Laborleiterin arbeitet sie als Doktorandin über „Antibiotika-Kontaminationen in Gemüse“ und ist im BMBF-Projekt RESET tätig.



**Dr. rer. nat. Didem Hanım Meriç** arbeitet zurzeit im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundprojektes zur MRSA-Problematik (MedVet-Staph) über die Antibiotikabelastung von Stallstäuben. Sie studierte Chemie an der Universität Paderborn und wurde dort im Jahre 2010 mit einem Thema über Aufnahme und Transport von Veterinärantibiotika in Nutzpflanzen promoviert.



**M. Sc. Inga Michels** ist seit Dezember 2010 als Doktorandin im Fachgebiet Analytische Chemie tätig. Das Studium der Biochemie wurde an der Ruhr-Universität Bochum abgeschlossen. Ihr Arbeitsgebiet über den Antibiotika-transfer Boden-Pflanze ist mit dem BMBF Forschungsprojekt RESET verbunden.



**Dr. rer. nat. Henning Stevens** ist seit Dezember 2010 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Rahmen eines Forschungsprojektes über die Antibiotikabelastung landwirtschaftlich genutzter Böden tätig. Nach dem Studium der Chemie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster folgte die Promotion 2009 an der Universität Paderborn mit einem Thema über Verhalten von Veterinärpharmaka im Boden.

#### Kontakt

**Prof. Dr. rer. nat. Manfred Grote**  
**Fakultät für Naturwissenschaften**  
**Department Chemie**  
**05251 60-2191**  
**magrote@zitmail.uni-paderborn.de**

# Früherkennung von Plaque in den Koronargefäßen

## Räumliche Wahrnehmung bei der Untersuchung von Koronararterien in CT-Datensätzen

Prof. Dr. Gitta Domik, Dipl.-Inf. Stephan Arens

Um Patienten mit erkrankten Herzkranzgefäßen (Koronargefäße) optimal behandeln zu können und ihre Lebenserwartung zu erhöhen, ist eine richtige und vor allem präzise Diagnose unverzichtbar. Moderne Computertomographen ermöglichen eine solche Diagnose ohne operativen Eingriff, jedoch wird der behandelnde Arzt mit einer Informationsflut von Bildern konfrontiert, die er nach relevanten Informationen durchsuchen muss.

Mithilfe von Visualisierungsalgorithmen wird Ärzten diese Last erleichtert. Auf einen Blick können mittlerweile Informationen dargestellt werden, die zuvor auf hunderten Bildern verteilt waren. Je besser die Daten durch die Visualisierung aufbereitet werden, desto schneller und präziser also die Diagnose. In der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Domik wird deshalb die zurzeit beste Visualisierung, die so genannte Curved Planar Reformation, noch weiter optimiert, um strukturelle Eigenschaften der Arterien und gefährliche sich dort bildende Softplaques besser erkennen zu können.

Die Erkrankung der Koronargefäße ist die mit Abstand häufigste Todesursache in Deutschland. Dabei sind vor allem zwei Ursachen und zwei Folgen zu nennen: Durch Verkalkungen (Hardplaques) verengte Koronargefäße mit der Folge einer chronischen Sauerstoffunterversorgung des Herzmuskels und aufreißende, so genannte Softplaques, deren austretender Inhalt die Koronargefäße verstopfen kann. Softplaque ist dabei ein medizinisches Frühstadium von Hardplaque und wird nach einigen Monaten zu diesem. Beide Plaquetypen sind nicht heilbar, aber durch operative Eingriffe behandelbar. Darüber hinaus ist durch eine Umstel-



Prof. Dr. Gitta Domik leitet das Fachgebiet Computergrafik, Visualisierung und Bildverarbeitung am Institut für Informatik an der Universität Paderborn. Ihre derzeitigen Arbeitsschwerpunkte sind medizinische Visualisierung, Serious Games, und universitäre Bildung in der Grafik und Visualisierung.

lung des Lebensstils die Neubildung dieser Plaques reduzierbar. Um einen Patienten mit erkrankten Koronargefäßen optimal zu behandeln, ist es sehr wichtig, die Art der Plaques zu erkennen, sie genau zu lokalisieren und zu vermessen. Nur so können die richtigen Maßnahmen ergriffen werden, bevor das Herz unterversorgt ist oder ein Softplaque aufreißt.

### Medizinische Visualisierung (Problembeschreibung)

Ein typischer, moderner Computertomograph liefert bei einer Aufnahme des menschlichen Herzens etwa 500 Graustufenbilder mit jeweils 512 mal 512 Bildpunkten und einer Ortsauflösung von 0,3 Millimetern (siehe Abbildung 1, links, für ein einzelnes Beispielbild). Auf dieser Menge von Bildern die Koronargefäße zu untersuchen ist eine mühsame Aufga-

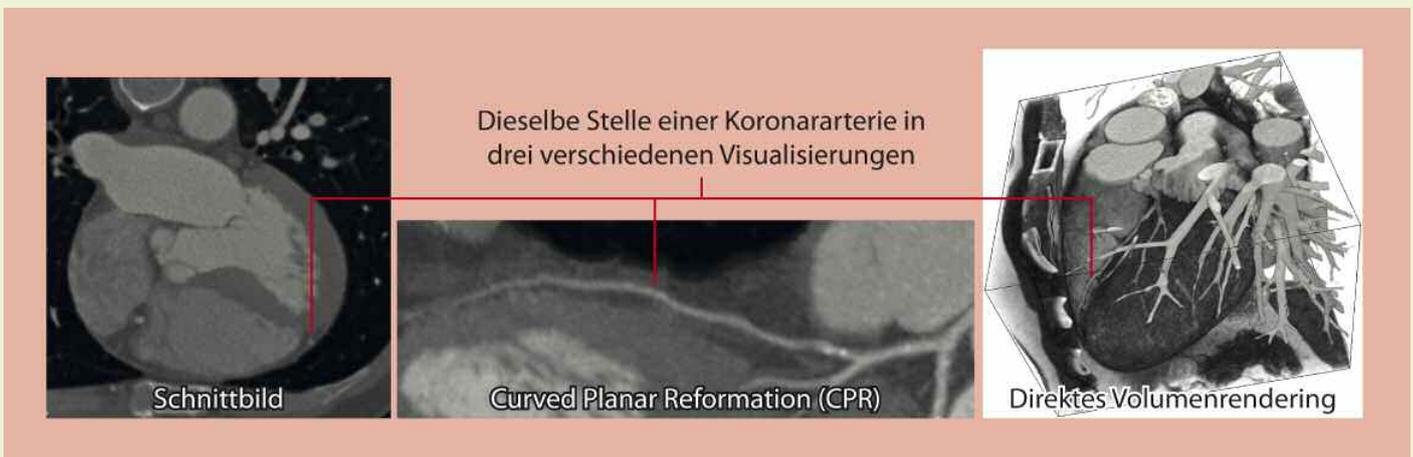


Abb. 1: Drei unterschiedliche Visualisierungen von derselben Stelle eines Datensatzes: Links ein einzelnes Schnittbild, in der Mitte eine CPR (abgerollte Koronararterie), rechts ein Volumenrendering aller 500 Schnittbilder.

be, bei der viele Fehler passieren können. Verschiedene Visualisierungsalgorithmen erleichtern und beschleunigen den Umgang mit diesen Daten. Wichtig für die Orientierung ist zum Beispiel das direkte Volumenrendering (siehe Abbildung 1, rechts). Hier kann der Verlauf der Arterien und die gesamte Anatomie dreidimensional begutachtet werden. Aufgrund der dreidimensionalen Anordnung kommt es jedoch zu Verdeckungen von Objekten, die im zweidimensionalen Raum nicht existieren. Die so genannte Curved Planar Reformation [KFW+02] (CPR) ist eine auf Gefäße spezialisierte Visualisierung (Abbildung 1, mittig) und löst dieses Problem. Anschaulich gesprochen wird eine gekrümmte Ebene durch die Mittellinie der Koronararterie gelegt und diese dann auf dem Bildschirm abgerollt (Abbildung 2). Auf diese Weise ist der gesamte Verlauf eines Arterienastes auf einen Blick sichtbar und nicht gestückelt auf 500 Bildern.

Geometrisch gesehen wird aus einer B-Spline, die den Verlauf der Arterie approximiert, eine Polygonfläche generiert, die dann mit dem Datensatz texturiert wird. Würde der genaue Verlauf der Arterie für die B-Spline verwendet werden, dann würde die CPR-Darstellung viele Verzerrungen aufweisen und die Windungen der Arterie wären nicht mehr sichtbar. Da die Berechnung und Texturierung der Ebene auf der Grafikkarte erfolgt, kann die Ansicht flüssig um die Mittellinie rotiert werden, so dass wirklich jeder Winkel der Arterie in kürzester Zeit begutachtet werden kann. Die Menge der unnötigerweise dargestellten Informationen – also alles, was nicht mit den Koronargefäßen zu tun hat – wird dabei auf ein Minimum reduziert.

Um diese spezialisierte Darstellung erstellen zu können, ist es unumgänglich, den Verlauf der Mittellinie der Arterien zu kennen. Dieser kann entweder manuell angegeben – was sehr zeitaufwendig ist – oder automatisch berechnet werden. Die automatische Erkennung und Markierung der Koronargefäße, Segmentierung genannt, ist dabei ein komplexer Prozess. Bildrauschen, schlechte Kontraste, Bewegungsartefakte und Anomalien erschweren die Erkennung. Allein die Darstellung eines ausgefeilten Segmentierungsalgorithmus würde den Rahmen dieses Beitrags füllen, weshalb segmentierte Koronararterien und die resultierenden Mittellinien hier als gegeben angenommen werden. Die Qualität der Mittellinien ist aber ein entscheidender Faktor für die fehlerfreie Darstellung der Arterien.

Hier aber sollte die Darstellung vertieft werden, da der behandelnde Arzt letztendlich an den Hard- und Softplaques interessiert ist, welche abhängig von Stadium, Größe und Bildqualität ebenfalls schwer zu finden sein können.

Zwar ist die CPR eine sehr geeignete und immer mehr verwendete Methode, um Koronararterien genau zu untersuchen, aber dennoch weist sie Mängel auf, da bei dieser Darstellungsform viele räumliche Informationen verloren gehen. Dies liegt an den derzeit in der Medizin verwendeten Techniken: Die Einzelschichtdarstellung und die Maximalwertdarstellung (engl. Maximum Intensity Projection), welche beide nur einen einzigen Datenwert verwenden, um die endgültige Farbe eines auf dem Bildschirm dargestellten Pixels zu bestimmen. Um räumliche Informationen darzustellen, sind aber mehrere Datenwerte entlang der Tiefen-

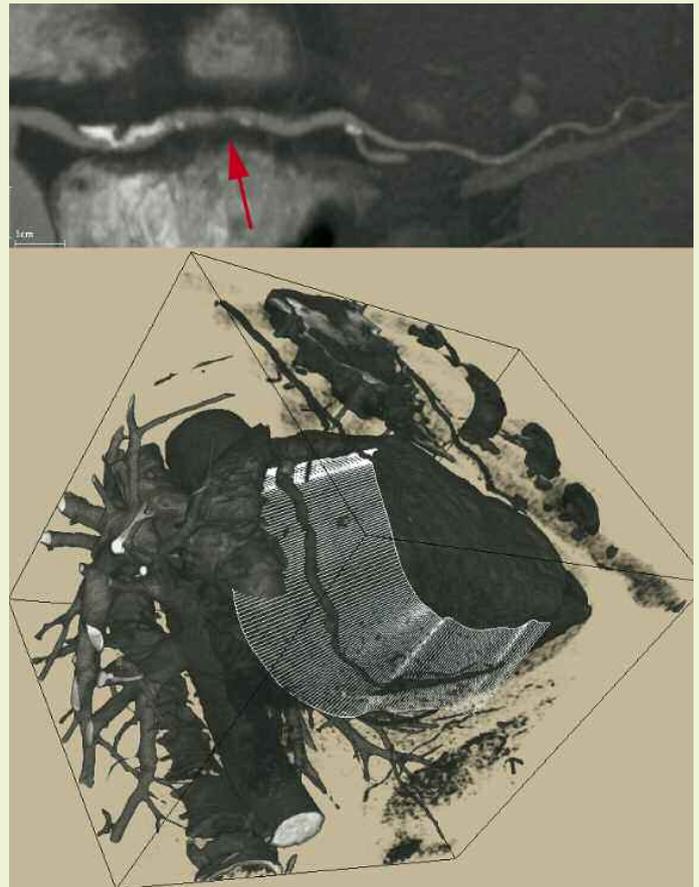


Abb. 2: Im oberen Bild ist eine Curved Planer Reformation (CPR) dargestellt, im unteren Bild der Verlauf der gekrümmten Schnittebene (weiß) aus der die CPR resultiert. Gut zu sehen sind die hellen Hardplaques, schwieriger zu sehen ist der dunkle Softplaque (Pfeil).

achse zu verwenden. Genau dies tut das direkte Volumenrendering unter Verwendung von Ray Tracing. Damit auch erstmals CPR-Darstellungen davon profitieren können, wurden an der Universität Paderborn sowohl der CPR-Algorithmus als auch das Ray Tracing weiterentwickelt. Im Kasten werden die technischen Unterschiede der Verfahren anschaulich beschrieben und verglichen.

### Räumliche Wahrnehmung in Curved Planar Reformations

Es ergeben sich etliche Freiheiten aus der Möglichkeit, direktes Volumenrendering in Kombination mit Ray Tracing in CPR-Darstellungen zu verwenden, deren medizinische Anwendung nun erforscht werden kann. Einige der vielen Möglichkeiten sind das Einfärben, Schattieren und Beleuchten der dargestellten Arterie. Wie die Abbildung 4 (links) zeigt, können neben der Farbe auch die Transparenz, das Umgebungslicht und der Glanzpunkt eingestellt werden. Als Grundlage der Beleuchtungsberechnung werden die lokalen Gradienten verwendet (diskrete 1. Ableitung im Raum). Dadurch existiert eine mathematische Beschreibung dessen, was als Oberfläche von Strukturen angesehen werden kann (in diesem Fall die Außenwand einer Koronararterie), so dass diese beleuchtet werden kann. Alle Schattierungsrechnungen werden auf der Grafikkarte ausgeführt, weshalb auf handelsüblichen Computern eine flüssige Interaktion gewährleistet ist.

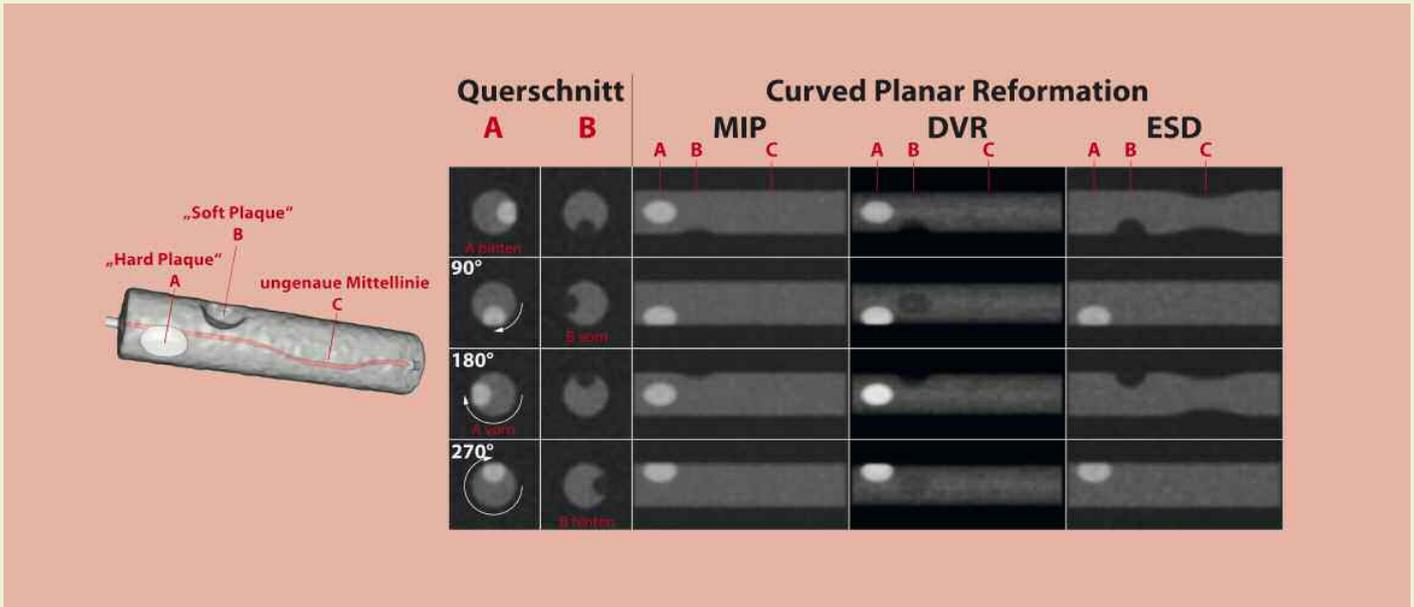
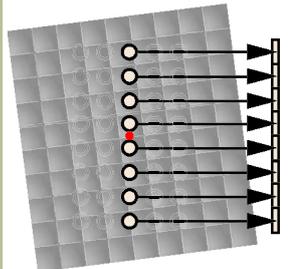
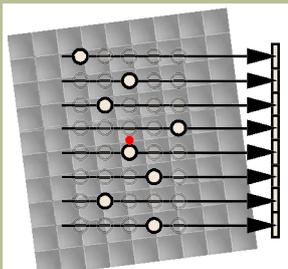


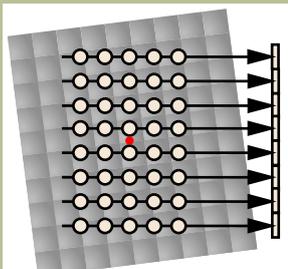
Abb. 3: Der hier dargestellte Vergleich der neuen Technik (DVR) mit den beiden zurzeit verwendeten Techniken (MIP und ESD) an einem computergenerierten künstlichen Datensatz zeigt deutlich die Eigenschaften sowie Vor- und Nachteile der Verfahren. Das Übersichtsbild links verdeutlicht das Aussehen des Datensatzes. Die Querschnitte links zeigen die Orientierung der Plaques je Zeile an.



**Einzelanschichtdarstellung (ESD)**  
Bei der ESD werden nur die Datenwerte einer einzelnen Schicht durch die Gefäßmittellinie verwendet, um das CPR-Bild zu errechnen. Es müssen nur wenige Datenwerte entnommen werden, weshalb dieses Verfahren weniger Rechenleistung erfordert als die anderen.



**Maximalwertdarstellung (MIP)**  
MIP ist zusammen mit der ESD das zurzeit am häufigsten verwendete Visualisierungsverfahren. Von einer Reihe von Datenwerten entlang der Tiefenachse wird nur der größte gewählt und bestimmt das Aussehen des entsprechenden Pixels der CPR-Bildebene.



**Direktes Volumenrendering (DVR)**  
Beim DVR werden alle Datenwerte über eine festgelegte Vorschrift verrechnet, um das Aussehen der Pixel zu bestimmen. Diese Vorschrift sorgt gemäß den Regeln der Verdeckung für eine Wahrnehmung von „vorne“ und „hinten“. Schattierungen verstärken und Transparenzen regulieren diesen Effekt.

Als besonders sinnvoll hat sich herausgestellt, nur eine dünne Oberfläche der Arterie zu schattieren und möglichst transparent darzustellen, was ausreicht, um die räumliche Struktur der Arterie visuell beurteilen zu können. Die restlichen – also die allermeisten – Datenwerte können dann völlig unverfälscht und mit einer Transparenz proportional zu ihrem Datenwert angezeigt werden. So dienen die ursprünglichen Datenwerte für das Auffinden der Plaques.

Alle Vorteile der so beschriebenen DVR-basierten CPR-Visualisierung werden in Abbildung 3 an einem künstlichen Datensatz deutlich. Zum einen sind Hardplaques jederzeit sichtbar, was ein Vorteil gegenüber der Einzelanschichtdarstellung ist (siehe Position A in Abbildung 3). Zum anderen sind Softplaques sichtbar, was ein Vorteil gegenüber der Maximalwertdarstellung ist (siehe Position B). Darüber hinaus ermöglicht diese Darstellung eine räumliche Wahrnehmung der Arterie, was ein Vorteil gegenüber der beiden anderen Verfahren ist. Gegenüber der Einzelanschichtdarstellung ist dieses Verfahren zudem weniger anfällig für nicht präzise gefundene Gefäßmittellinien, da die Abgrenzungen der Koronargefäße zu den umliegenden Geweben oft schwer zu erkennen ist (siehe Position C). Zu allerletzt bleibt zu erwähnen, dass es das einzige Verfahren ist, das alle Datenwerte der Arterie für die Berechnung der Darstellung verwendet, anstatt nur eine Selektion darzustellen. Als Schwachstelle kann man die unveränderte Darstellung des Datensatzrauschens gegenüber der glättenden Maximalwertdarstellung ansehen, was allerdings nicht nur als Nachteil gesehen werden darf.

Dass diese Eigenschaften nicht nur am künstlichen Datensatz gelten, sondern auch an realen Daten, verdeutlicht der exemplarische Vergleich in Abbildung 4 (rechts) anhand einer rechten Koronararterie.

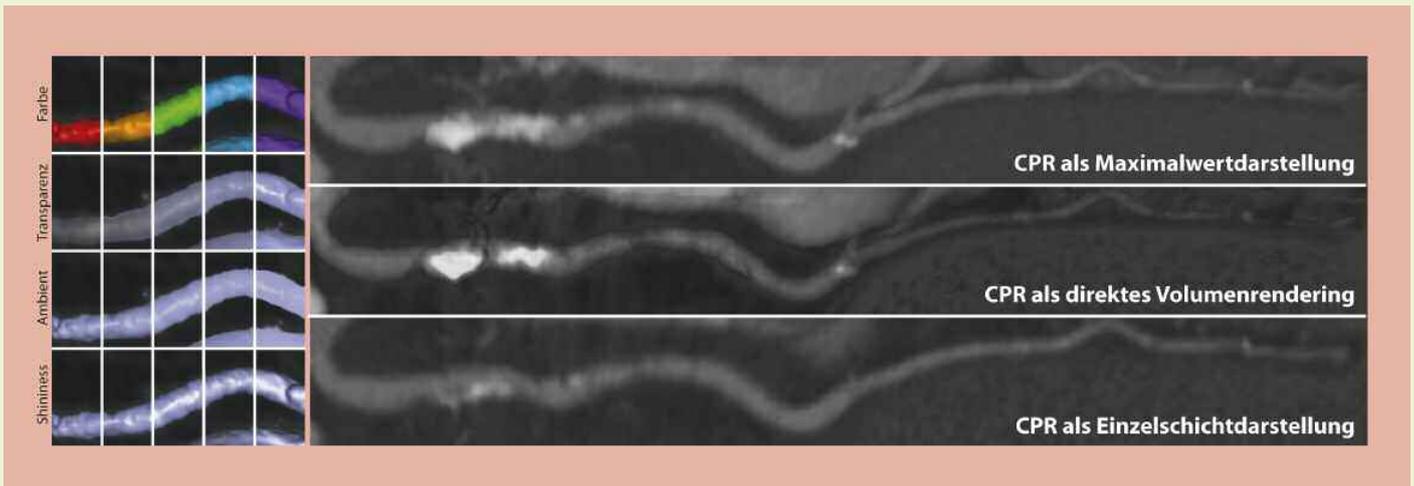


Abb. 4: Links sind beispielhaft vier unterschiedliche Parameter mit jeweils fünf Ausprägungen abgebildet, die durch die neue verwendete Technik nun zur Verfügung stehen, um Koronargefäße hervorzuheben. Rechts daneben werden die zurzeit verwendeten Techniken (oben und unten) mit der neuen Technik (mittig) verglichen. Zur Hervorhebung der räumlichen Struktur der Arterie wurde eine sehr dünne Datenschicht transparent schwarz und dezent beleuchtet verwendet. Je niedriger zudem ein Datenwert ist, desto transparenter wird er dargestellt, anstatt nur dunkler, wie bei den anderen beiden Verfahren, die keine Transparenz verarbeiten können.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Kombination von direktem Volumenrendering und der Curved Planar Reformation vereinigt alle Vorteile der Verfahren. Die CPR erlaubt es, auf einen Blick den gesamten Arterienverlauf zu begutachten. Das direkte Volumenrendering ermöglicht eine räumliche Wahrnehmung der Koronararterien. So ist z. B. deutlich sichtbar, ob Plaque an der Vorder- oder Hinterseite der Arterie angelagert ist, was in der sonst üblichen Maximalwertdarstellung bzw. Einzelschichtdarstellung nicht erkennbar ist.

Zudem kann die Struktur und Form der Arterienwand wesentlich besser und dreidimensional wahrgenommen werden, um z. B. Ein- oder Auswölbungen zu erkennen. Diese sind in den üblichen Ansichten teils gar nicht oder nur durch Drehen der Ansicht sichtbar. Erste durchgeführte kontrollierte Benutzerexperimente zeigen, dass die Form von Arterien konkaven Querschnitts (dies deutet auf Softplaque hin) mit dem neuen Verfahren besser eingeschätzt werden kann als mit dem alten unter Verwendung der Maximalwertdarstellung.

Auch ist die Darstellungsqualität weitestgehend unabhängig von der Qualität der berechneten Gefäßmittellinie, wohingegen die Einzelschichtdarstellung bei unpräzisen Mittellinien künstlich erzeugte Stenosen bzw. Einwölbungen aufweisen kann.

Die vorgestellte Technik ermöglicht die Kombination der Vorteile von CPR und DVR. Es können genaue Untersuchungen und Vermessungen durchgeführt werden, ohne dass wertvolle räumliche Informationen verloren gehen. Dies kann die medizinische Früherkennung von Plaques unterstützen. Vor allem wird die Chance erhöht, gefährliche Softplaques früh zu erkennen, was das Risiko, einen Herzinfarkt zu erleiden, deutlich senkt. In Zukunft soll über kontrollierte Benutzerexperimente die optimale Parametrisierung ermittelt und automatisiert angewendet werden, um die Fähigkeiten des Algorithmus in einer medizinischen Studie zu testen.

### Danksagung

Wir bedanken uns bei W. Burchert, R. Weise, J. Holzinger und H. Fricke vom Herz- und Diabeteszentrum NRW für die unterstützende Zusammenarbeit und die zugrunde liegenden CT-Daten.

### Literatur

[KFW+02] KANITSAR A., FLEISCHMANN D., WEGENKITTL R., FELKEL P., GRÖLLER E.: CPR – CURVED PLANAR REFORMATION. IN IEEE VISUALIZATION (2002).



**Dipl.-Inf. Stephan Arens** arbeitet seit 2009 am Lehrstuhl Computergrafik, Visualisierung und Bildverarbeitung an der Universität Paderborn und promoviert dort zurzeit. Seine Forschungsgebiete sind Volumenrendering und Visualisierung medizinischer Daten des Herzens.

### Kontakt:

Prof. Dr. Gitta Domik

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

Fachgebiete Computergrafik, Visualisierung und Bildverarbeitung

05251 60-6610

domik@uni-paderborn.de

# Automobilleichtbau mit innovativen Werkstoffen und Prozessen

Kraftstoffverbrauch senken und die Umwelt schonen

Prof. Dr. Thomas Tröster, Dipl.-Ing. Thorsten Marten, Dipl.-Wirt.-Ing. Dieter Thomas, Dipl.-Ing. Holger Block, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Lauter und Dipl.-Ing. Markus Thöne

Trotz großer Anstrengungen ist es den Automobilherstellern in den vergangenen Jahren nicht gelungen, die Gewichte von Kraftfahrzeugen zu reduzieren. Stattdessen ist durch viele neue Komfort- und Sicherheitsanforderungen ein Gewichtsanstieg zu verzeichnen. Um zukünftigen Klimaschutzzielen zu begegnen, bedarf es daher innovativer und ganzheitlicher Leichtbauansätze. Durch die Senkung des Fahrzeuggewichtes um 100 kg lässt sich eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs um circa 0,3 l pro 100 km und damit eine Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um etwa 8,5 g/km realisieren [1].

**Stand der Technik:**  
**Leichtbau im Automobil**

Leichtbau im Automobil lässt sich durch verschiedene Maßnahmen erreichen. Neben der Optimierung der Geometrie von Bauteilstrukturen, der Wahl geeigneter Fertigungsverfahren oder der Integration verschiedener Funktionen in einem Bauteil besitzt der werkstoffliche Leichtbau für auto-



Prof. Dr. Thomas Tröster ist seit 2007 Hochschullehrer für Leichtbau im Automobil. Nach dem Physik-Studium an der Universität Paderborn arbeitete er dort als Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich der Hochdruckphysik. Von 2000-2005 wechselte er zur Benteler Automobiltechnik und leitete dort den F&E Bereich Werkstofftechnologie. Die Habilitation im Fachgebiet Experimentalphysik schloss er 2002 ab. Von 2005-2007 war er Professor für Technische Mechanik und Physik an der FH Köln.

mobile Strukturbauteile eine sehr große Bedeutung. In diesem Zusammenhang werden aktuell drei verschiedene Ansätze verfolgt [2].

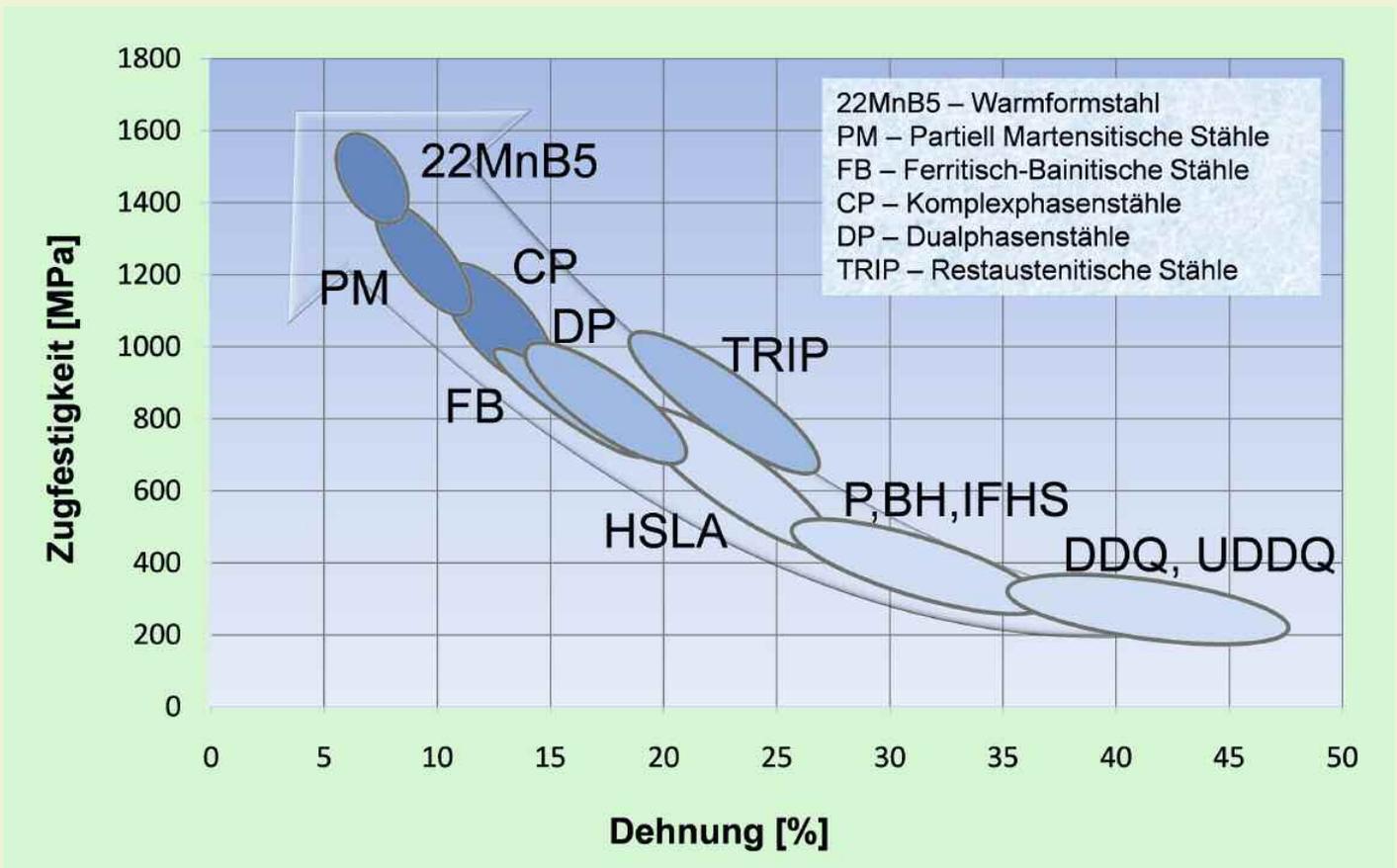


Abb. 1: Portfolio von Stahlwerkstoffen im Automobil.



Abb. 2: Simulation der Eigenschaften neuer Werkstoffe mithilfe von JMatPro.

Durch den Einsatz von hoch- und höchstfesten metallischen Werkstoffen lässt sich aufgrund der höheren Festigkeiten die Wanddicke von Bauteilen senken [3], [4]. Die Verringerung der Wanddicke geht jedoch mit einer Reduzierung der Steifigkeit und Stabilität der Strukturen einher, so dass dem Leichtbaupotenzial an dieser Stelle Grenzen gesetzt sind. Daneben kann werkstofflicher Leichtbau durch die Substitution von Stahl oder Aluminium z. B. durch Faserverbundkunststoffe (FVK) realisiert werden. Faserverbundkunststoffe zeichnen sich durch sehr gute spezifische mechanische Eigenschaften aus, die denen metallischer Werkstoffe häufig überlegen sind. Auf diese Weise könnten im Karosseriebereich Einsparungen von bis zu 50 Prozent des Gewichts erreicht werden. Die hohen Werkstoff- und Fertigungskosten sowie die mangelnde Integrationsfähigkeit der FVK-Komponenten in bestehende Strukturen verhindern jedoch eine breite Anwendung.

Der dritte Ansatz, bei dem unterschiedliche Werkstoffe in einer Baugruppe kombiniert werden, wird als Multimaterialbauweise bezeichnet. In einem Multimaterialsystem wird für jede Einzelkomponente der jeweils optimale Werkstoff eingesetzt. Beim „Erlanger Träger“ wird z. B. die Steifigkeit einer dünnwandigen Stahlstruktur durch eine formschlüssige kurzfaserverstärkte Faserverbundkunststoff-Verrippung erhöht [5].

Eine Erweiterung der Multimaterialbauweise stellt die Hybridbauweise dar. Hierbei werden Hybridwerkstoffe eingesetzt, bei denen unterschiedliche Materialien flächig fest miteinander verbunden werden. Im Bereich des Flugzeugbaus hat z. B. glasfaserverstärktes Aluminium unter der Bezeichnung „GLARE“ eine besondere Stellung erlangt.

Bei den vorgestellten Konzepten wird die Gesamtstruktur aus einzelnen Komponenten aufgebaut, die ihrerseits dann aus einem definierten Werkstoff bestehen. Der Nachteil dieser Bauweise liegt darin, dass sich die Eigenschaften einer gegebenen Komponente, wie z. B. die Wanddicke oder die Festigkeit, nicht lokal variieren lassen. Da die Komponenten im Allgemeinen aber lokal sehr unterschiedlich beansprucht werden (vgl. Abbildung 3) und die Auslegung des Bauteils nach der höchsten Beanspruchung erfolgen muss, ergeben sich automatisch Bereiche, die überdimensioniert sind. Um den Materialausnutzungsgrad zu steigern und

damit einen optimalen Leichtbau betreiben zu können, ist es daher erforderlich, belastungsangepasste Strukturen mit lokal veränderlichen Eigenschaftsprofilen herzustellen. Eine belastungsangepasste Bauweise kann durch die Variation der Eigenschaften eines gegebenen Materials erfolgen. Ein Beispiel dafür ist die hier vorgestellte partielle induktive Härtung. Darüber hinaus können aber auch artfremde Werkstoffe lokal variabel kombiniert werden, was am Beispiel der Hybridbauteile erläutert wird.

### Höchstfeste Stahlwerkstoffe für den Automobilleichtbau

Der klassische Automobilwerkstoff Stahl (Abbildung 1) steht heutzutage in einem ständigen Verdrängungswettbewerb mit alternativen Leichtbauwerkstoffen, da Stahl aufgrund seiner hohen Dichte nicht zu den klassischen Leichtbauwerkstoffen gezählt werden kann. Die Entwicklungen der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass durch die gezielte Erhöhung z. B. der spezifischen Festigkeiten eine Stahlkonstruktion gewichtsmäßig durchaus mit einer Aluminiumkonstruktion konkurrieren kann.

Als prominentes Beispiel für diese Entwicklung soll an dieser Stelle auf die presshärtbaren Stähle verwiesen werden. Durch einen speziellen Herstellungsprozess, der eine Erwärmung der Ausgangshalbzeuge mit einer anschließenden Formgebung und Härtung beinhaltet, werden Bauteile mit extrem hohen Festigkeitswerten generiert. Diese Bauteile finden fast konkurrenzlos in höchstbelasteten Bereichen der Karosserie Anwendung. Die höheren Prozesskosten für die Warmformgebung werden durch die Vorteile des Prozesses wie die hohe Maßhaltigkeit der Bauteile bei gleichzeitiger großer Formbarkeit des erwärmten Materials überkompensiert.

Neben diesem speziellen Verfahren zur Herstellung höchstfester Strukturkomponenten sind aber auch im Bereich der Kaltformstähle deutliche Tendenzen hin zu höchsten Festigkeiten zu erkennen. So sind in den letzten Jahren viele Werkstoffkonzepte entstanden, welche durch eine gezielte Legierungs- und Verfahrensentwicklung spezielle harte Gefügephasen im Stahlwerkstoff erzeugen. Beispiele dafür reichen von den Dual- und Complexphasenstählen bis hin zu den partiell martensitischen Stählen.

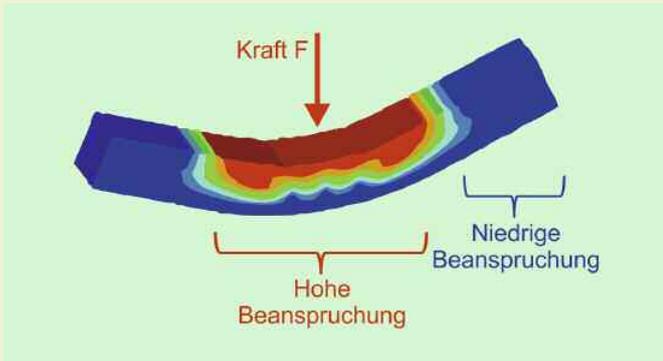


Abb. 3: Beanspruchung eines Balkens infolge einer Kraft  $F$ : Zu erkennen sind hoch (rot) und niedrig (blau) beanspruchte Bereiche.

Insbesondere der Einsatz spezieller Simulationstools, wie z. B. ThermoCalc oder JMatPro, hat diese Entwicklungen forciert und die Entwicklungszeiten für neue Werkstoffkonzepte deutlich reduziert. Neben der simulativen Abbildung des Gefügeumwandlungsverhaltens lassen sich auch die späteren technologischen Eigenschaften des Werkstoffes abschätzen (Abbildung 2), so dass der hohe Versuchsaufwand zur Entwicklung eines neuen Werkstoffes drastisch reduziert werden kann.

Mit Hilfe des heutzutage sehr umfangreichen Werkstoffportfolios der Stahlwerkstoffe ist es möglich, für jede Belastungssituation in der Fahrzeugkarosserie den richtigen Werkstoff gezielt einsetzen zu können. Zukünftige Entwicklungen werden neben der Erweiterung des Portfolios z. B. in Richtung noch höherer Festigkeiten auch zur gezielten Anpassung der Werkstoffe an spezielle Bauweisen, wie z. B. der Hybridbauweise, führen. Hier wird es erforderlich sein, die verschiedenen Werkstoffe hinsichtlich ihrer Eigenschaften möglichst gut aufeinander abzustimmen.

### Partielle induktive Härtung

#### Prozessablauf und Leichtbaupotenzial

Bei einer induktiven Härtung handelt es sich wie bei dem Presshärten um eine Wärmebehandlung mit dem Ziel, die mechanischen Eigenschaften eines Bauteiles zu verändern. Bei einer Senkung der Wanddicke und damit des Bauteil-

gewichts kann die dadurch hervorgerufene Schwächung durch die gleichzeitige Erhöhung der Festigkeit wieder ausgeglichen werden, sofern keine Steifigkeits- oder Stabilitätsprobleme auftreten. Bei einer lokalen Anwendung dieses Verfahrens wird der Umstand ausgenutzt, dass die Beanspruchung von Bauteilen in den meisten Fällen nicht homogen ist (Abbildung 3). Da die Auslegung der Strukturen sich an den höchsten lokalen Belastungen orientieren muss, werden Bereiche mit niedrigeren Belastungen entsprechend überdimensioniert.

Durch eine Senkung der Wanddicke könnte die Materialausnutzung in den Bereichen mit niedrigeren Beanspruchungen dementsprechend verbessert werden. Die hoch beanspruchten Bereiche sind dann unterdimensioniert, was aber gerade durch die partielle induktive Härtung mit einer lokalen Anhebung der Streckgrenze und Zugfestigkeit ausgeglichen werden kann.

Gegenüber anderen Härteverfahren ist es bei der induktiven Härtung möglich, die Wärmeenergie sehr gezielt an einer Stelle in das Werkstück einzutragen. Somit kann auf eine Härtung des gesamten Bauteiles und einen damit verbundenen hohen Energieeinsatz verzichtet werden.

Für die Anwendung dieses Verfahrens sind zunächst die Bauteilbereiche zu bestimmen, die gehärtet werden müssen. Dazu wird die Beanspruchung des wanddickenreduzierten Bauteils mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) berechnet. Wie hoch die Wanddickenreduktion und somit die Gewichtseinsparung letztlich ausfallen kann, hängt auch von der Aufhärbarkeit des verwendeten Stahles ab, die je nach Legierung sehr unterschiedlich sein kann. Bei einem ferritisch-bainitischen Stahl (FB590) kann beispielsweise die Festigkeit von etwa 600 MPa auf über 1 000 MPa gesteigert werden, während bei einem mikrolegierten Stahl (S420MC) eine Festigkeitssteigerung von lediglich 10 Prozent möglich ist.

Für die Umsetzung des partiellen Härtungsprozesses ist ein Generator erforderlich, der einen Induktor mit Wechselstrom versorgt. Der Induktor selbst wird entweder an die Kontur der gesamten Härtezone angepasst oder in einer definierten Bahn über den zu härtenden Bereich des Werkstückes geführt. Um den Induktor baut sich ein elektromagnetisches Wechselfeld auf, das in metallischen Körpern einen Strom

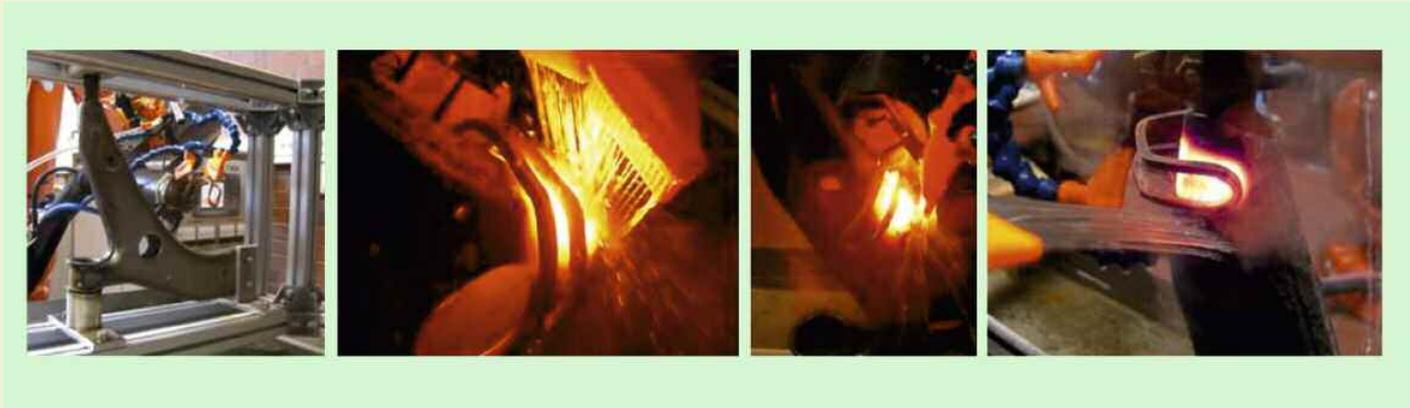


Abb. 4: Partielle induktive Härtung eines Querlenkers: Der Induktor erwärmt die Struktur in definierten Bereichen. Durch das anschließende Abschrecken wird der Werkstoff gehärtet.

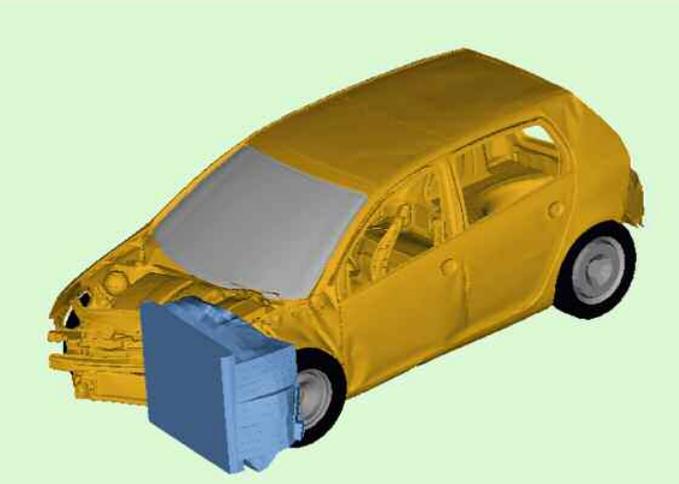


Abb. 5: Simulation des Frontalaufpralls nach Euro NCAP mit LS-DYNA.

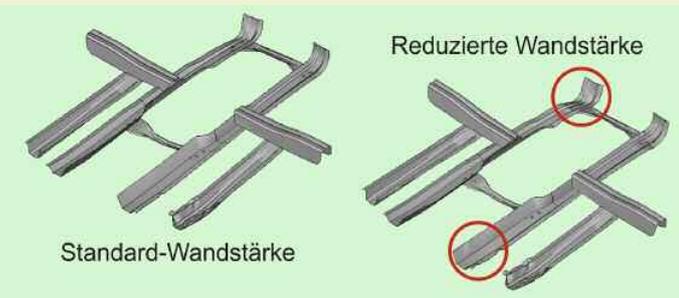


Abb. 6: Verformungsverhalten einer Bodengruppe, links Serienstand, rechts mit reduzierter Wanddicke.

induziert und diese erwärmt. Dieser Effekt wird in niedriglegierten Stählen noch durch den Ferromagnetismus des Werkstoffes verstärkt. Die Stärke der Wechselwirkung und folglich auch die Aufheizung der Härtingszone werden dabei maßgeblich von dem Abstand des Induktors zu dem Werkstück beeinflusst.

In dem folgenden Beispiel wurde ein Querlenker eines Ford Focus partiell gehärtet (Abbildung 4). Ein Roboter führte einen Induktor in einem geringen, definierten Abstand entlang der zu härtenen Bereiche und erhitze diese auf eine Temperatur von etwa 1 050 °C. Unmittelbar nach der Erwärmung wurden die Bauteilbereiche durch mehrere mitgeführte Wasserdüsen abgeschreckt und somit der gewünschte Härtegrad eingestellt.

Bei diesem Querlenker konnte die Wanddicke effektiv von 2,8 mm auf 2,5 mm gesenkt werden, so dass 11 Prozent des Gewichts eingespart wurden. Tatsächlich wurde die mögliche Wanddickenreduktion in diesem Fall durch die Anforderungen an die Steifigkeit des Lenkers begrenzt, die durch eine Härtung nicht beeinflusst werden kann. Weitere Einsatzgebiete der partiellen induktiven Härtung lassen sich durch FE-Simulationen bei crashrelevanten Karosseriebauteilen nachweisen. Die Ergebnisse dieser Simulationen werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

### Finite-Elemente-Simulation

Die Finite-Elemente-Simulation ist in der heutigen Zeit aus dem Entwicklungsprozess nicht mehr wegzudenken. Für das

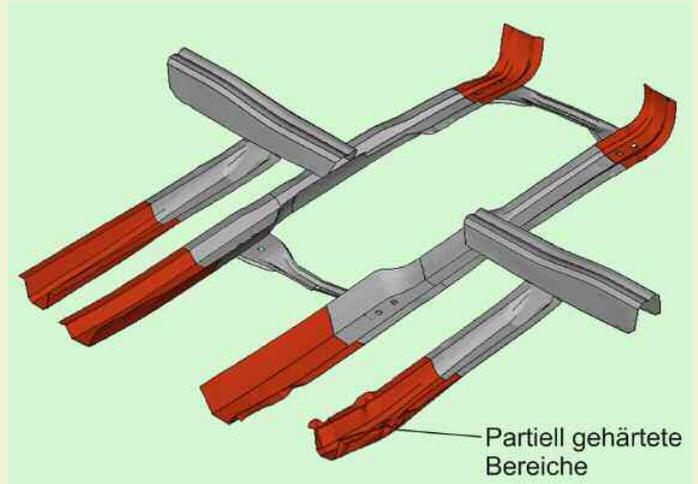


Abb. 7: Verformungsverhalten der partiell gehärteten Bodengruppe mit reduzierter Wanddicke.

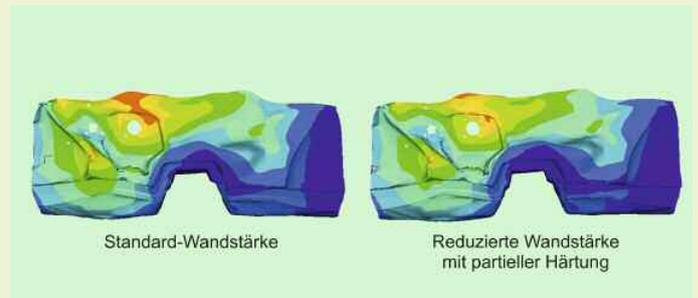


Abb. 8: Vergleich der Firewall-Intrusionen der Serienbodengruppe mit der partiell gehärteten Bodengruppe mit reduzierter Wanddicke.



Abb. 9: Hutprofilstruktur als Abstraktion eines automobilen Strukturbauteils in Hybridbauweise: eine höchstfeste metallische Grundstruktur mit einer lokalen Verstärkung aus einem Faserverbundkunststoff wie CFK.

partielle Härten werden Finite-Elemente-Simulationen eingesetzt, um hochbelastete Bereiche zu detektieren, bei denen eine lokale Festigkeitssteigerung sinnvoll ist. Beispielhaft wird dies im Folgenden für einen Teil der Bodenstruktur einer Karosserie angewendet. Als Software kommt LS DYNA zum Einsatz, die auch bei vielen Automobilherstellern und Zulieferern Anwendung findet. Dabei wird das Augenmerk auf die Belastung bei einem Frontalaufprall nach Euro NCAP gelegt (Abbildung 5).

Bei solch einem Aufprall kommt es zu großen Belastungen und daraus resultierenden Verformungen der Bodengruppe. Abbildung 6 zeigt die Verformung der Verstärkungselemente einer Unterbodenstruktur eines Mittelklassefahrzeuges. Im

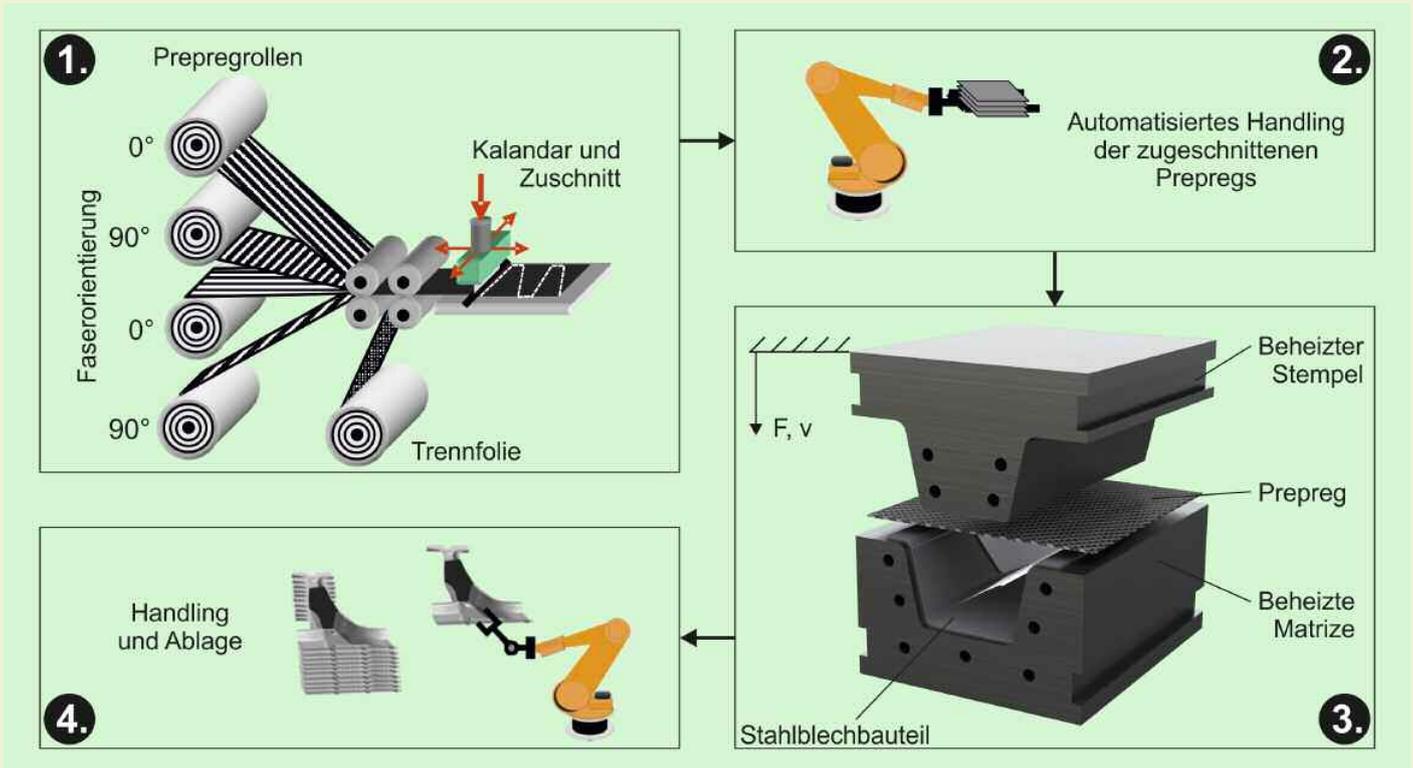


Abb. 10: Ablauf des Prepregpressens zur Fertigung von Hybridbauteilen aus Metallen und Faserverbundkunststoffen.

linken Teil des Bildes ist die Verformung der Serienstruktur, im rechten Teil die einer um 25 Prozent wanddickenreduzierten Struktur zu sehen. Dabei zeigt sich bei reduzierter Wandstärke eine deutlich größere Verformung im vorderen und hinteren Bodenbereich. Um diesem instabilen Verhalten entgegenzuwirken, können die sich stark verformenden Bereiche induktiv gehärtet werden. In Abbildung 7 ist das Verformungsverhalten der Bodenstruktur bei reduzierter

Wanddicke mit partiell gehärteten Bereichen, die rot gekennzeichnet sind, zu sehen.

Durch das Härten kann die Verformung der blechdickenreduzierten Bodenstruktur wieder auf den Serienstand reduziert werden. Neben der Verformung der Bodenstruktur sind aber auch weitere Verformungen in der Karosserie zu beachten. Kritisch sind zum Beispiel die Intrusionen der Firewall, die den Fahrgastraum von dem Motorraum trennt. Beim Vergleich der Firewall-Intrusionen ist aber auch hier keine Verschlechterung bei reduzierter Wandstärke mit partiell gehärteten Bereichen erkennbar (siehe Abbildung 8).

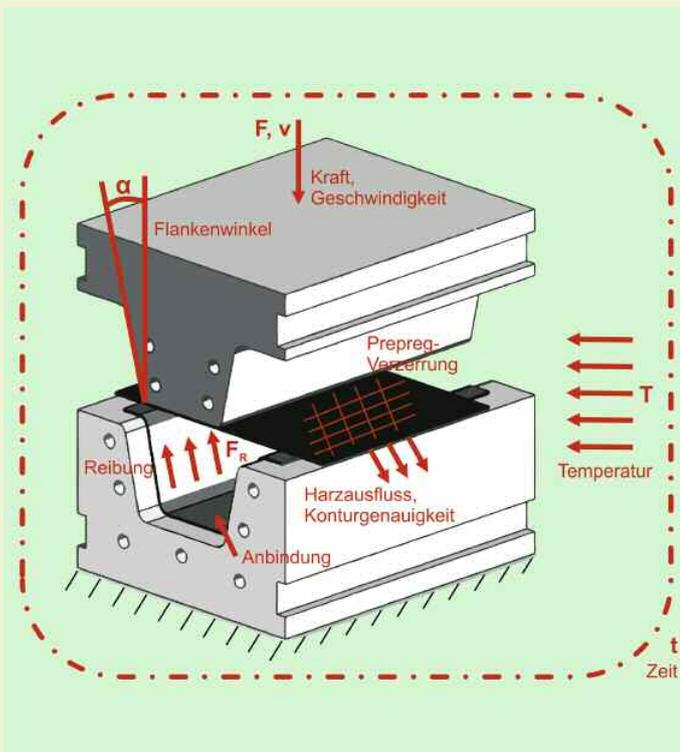


Abbildung 11: Ansätze zur Untersuchung des Prepregpressens.

### Hybridwerkstoffe aus Metall und Faserverbundwerkstoffen

#### Hybridwerkstoffe und Hybridbauteile

Eine Alternative zur direkten Beeinflussung mechanischer Eigenschaften durch die partielle induktive Härtung bietet die lokale Verstärkung eines Bauteils durch zusätzlich aufgebrachte Strukturen. Automobile Strukturbauteile, z. B. aus höchstfesten Stählen, können lokal an besonders hochbeanspruchten Stellen beispielsweise mit einer Verstärkung aus Faserverbundkunststoffen wie kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) versehen werden. Es entsteht ein Hybridbauteil (Abbildung 9). Hybridbauteile weisen ein enormes Leichtbaupotenzial auf, da eine optimale Werkstoffausnutzung erreicht wird. Je nach Materialkombination lassen sich bis zu 35 Prozent Gewicht einsparen [8]. Durch den begrenzten Einsatz von teuren FVK-Werkstoffen wird zudem ein kostenoptimierter Leichtbau erreicht.

#### Großserientaugliches Fertigungsverfahren für Hybridbauteile: Prepregpressen

Eine Möglichkeit zur Fertigung von Hybridbauteilen ist das

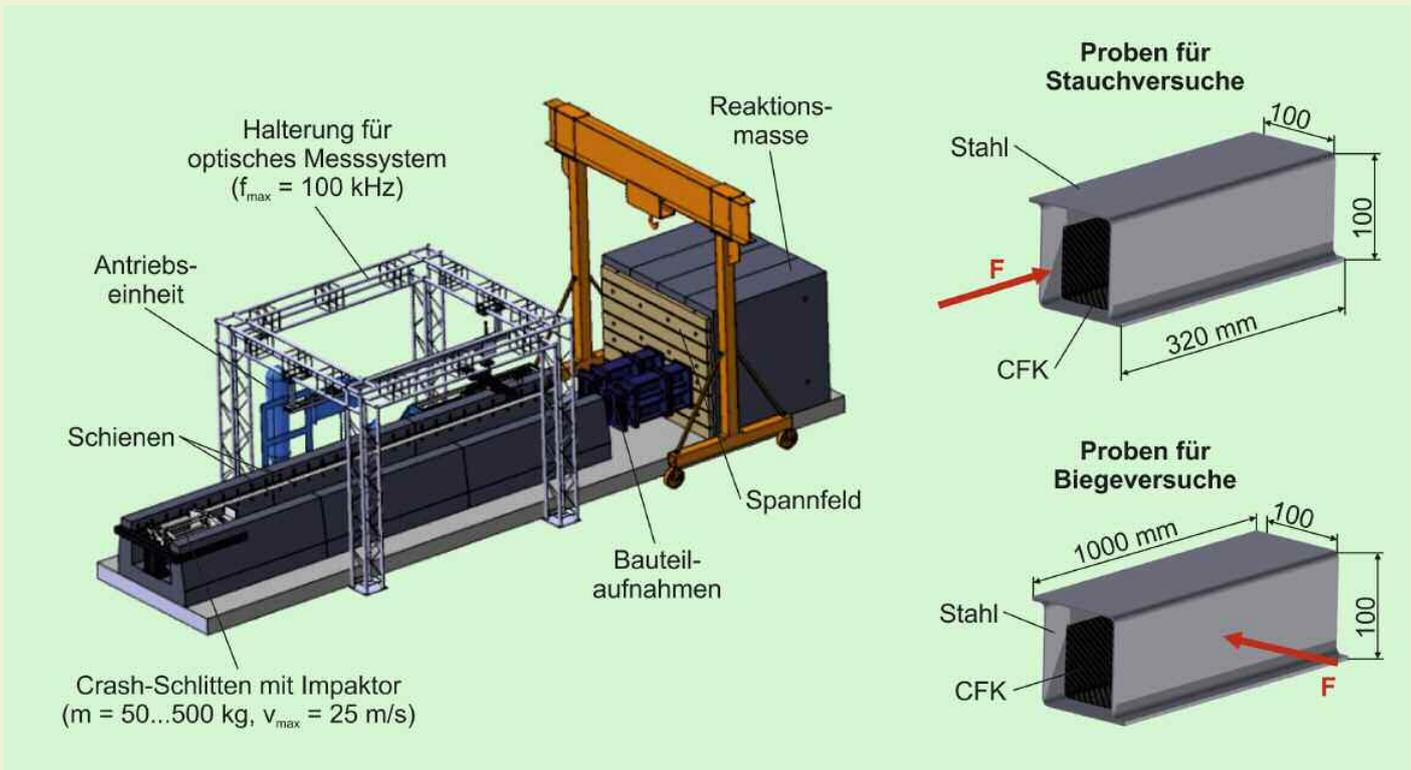


Abb. 12: Crashprüfstand und Proben für Crashversuche an Hybridwerkstoffen.

Prepregpressen. Dieses neuartige Fertigungsverfahren ist ein großserientauglicher Prozess, der entsprechend der Spezifikationen der Automobilindustrie entwickelt wird. Es werden mit einer Epoxidharzmatrix vorimprägnierte FVK-Halbzeuge verwendet. Diese so genannten Prepregs werden auf speziellen Anlagen kontinuierlich als Rollenware hergestellt. Nach einem anschließenden Zuschnitt und Lagenaufbau entsprechend der Beanspruchungen im späteren Bauteil werden die Halbzeuge einer Presse zugeführt. Ein Roboter legt zunächst das bereits umgeformte metallische Bauteil in die Presse ein. Danach wird das Prepreg aufgelegt und durch einen Umformprozess in das Blechbauteil eingepreßt. Die Epoxidharzmatrix selbst dient hierbei als Klebstoff. Nach einer Aushärtungszeit von circa 90 bis 120 Sekunden je nach Prepregdicke wird das Hybridbauteil entnommen und abgelegt. Die Restaushärtung der Epoxidharzmatrix erfolgt anschließend in einem für automobiler Strukturbauteile ohnehin nachgeschalteten Lackierprozess (Abbildung 10).

Bei der Einförmung des Prepregs in die Metallstrukturen sind verschiedene Faktoren zu beachten. Insbesondere ist die Materialflusssteuerung durch Niederhalterssysteme oder Ziehleisten zu nennen. Den Prozess zeichnen Taktzeiten von weniger als fünf Minuten im Vergleich zu sonst üblichen 15 Minuten und mehr aus. Durch die metallische Grundstruktur können die Hybridbauteile z. B. mittels Punktschweißen in bestehende Strukturen und Prozesse integriert werden. Mittels des Prepregpressens lassen sich z. B. automobiler Strukturbauteile wie B-Säulen, Schweller oder Trägerstrukturen darstellen. Eine darüber hinausgehende Anwendung u. a. im Nutz- oder Schienenfahrzeugbau ist ebenfalls denkbar.

### Experimentelle Untersuchungen des Prepregpressens

Das Prepregpressen dient der großserientauglichen Herstellung z. B. von automobiler Strukturbauteilen. Um die Qualifizierung dieses Fertigungsverfahrens für die Anwendung in Automobilen unter den spezifischen Anforderungen dieses Industriezweiges zu erforschen, werden verschiedene Untersuchungsansätze verfolgt (Abbildung 11). Diese lassen sich in vier Gruppen einteilen: Neben den Prozessparametern (u. a. Temperatur oder Zeit), der Geometrie (u. a. Symmetrie oder Radien) oder dem Materialverhalten (u. a. Harzausfluss oder Wärmespannungen) spielt insbesondere die Anbindung des Faserverbundkunststoffs an die Stahloberfläche eine wichtige Rolle.

Im Folgenden soll auf einige ausgewählte Untersuchungen eingegangen werden. Hybridwerkstoffe finden Anwendung in crashbelasteten Automobilstrukturen. Aus diesem Grund sind fundierte Kenntnisse über das Crashverhalten von mittels Prepregpressen hergestellten hybriden Bauteilen von besonderer Bedeutung. Für die Crashversuche wurde ein am Lehrstuhl für Leichtbau im Automobil entwickelter Schlitten-Crashprüfstand genutzt (Abbildung 12). Im ersten Schritt wurden Doppel-Z-Profile aufgrund der einfachen Geometrie für die Faserverbundkunststoff-Verstärkung ausgewählt. Hierdurch lassen sich Umformeinflüsse wie starke Faserverlagerungen, Faserverschiebungen oder Faltenbildungen weitestgehend ausschließen. Für Stauchversuche wurden Profile mit einer Länge von 320 mm hergestellt. Für die Biegeversuche beträgt die Probenlänge 1000 mm. Beide Profile wurden aus einem DD11-Stahlwerkstoff mit einer Wandstärke von 1,5 und 2,0 mm hergestellt. Die Verstärkung aus FVK besitzt in allen Fällen eine Länge von

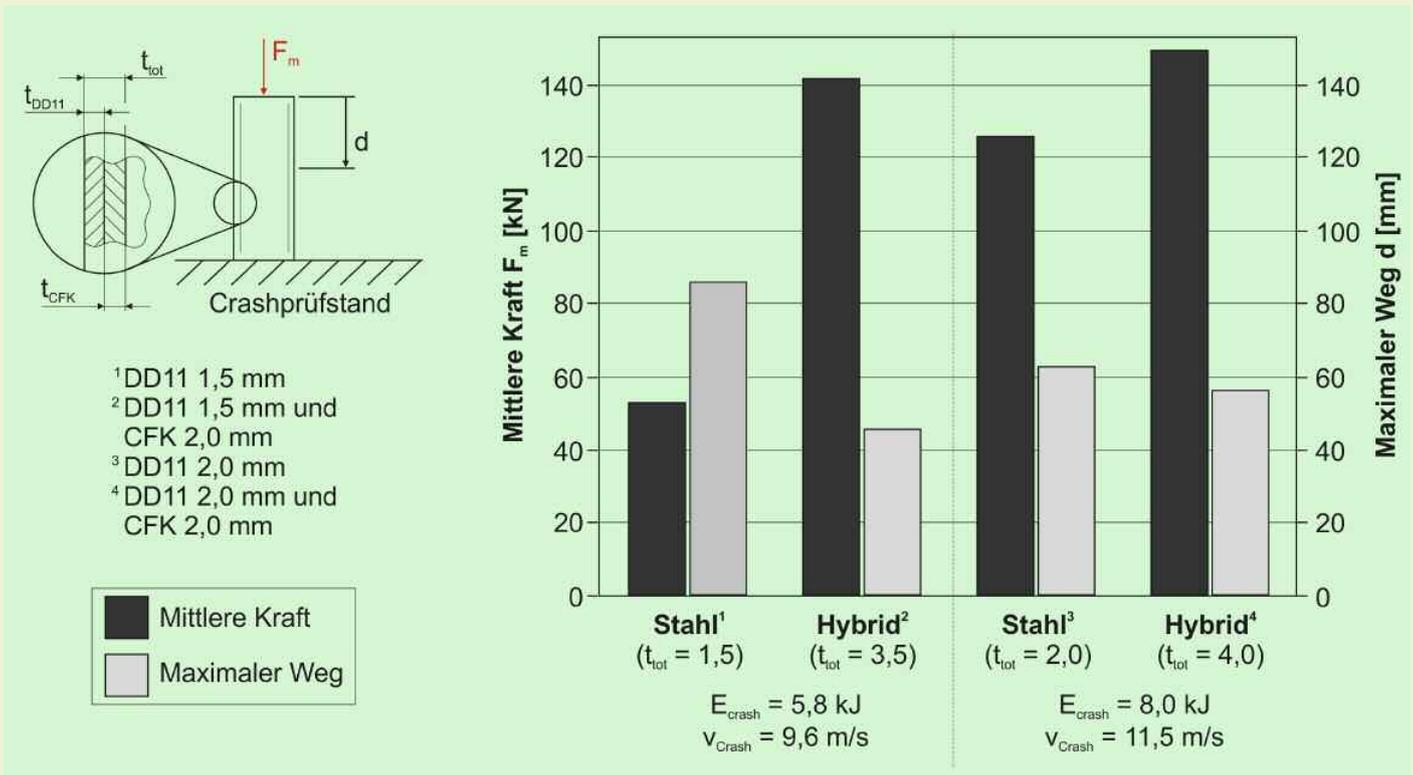


Abb. 13: Mittlere Kraft und maximaler Verformungsweg für Stahl- und Hybrid-Doppel-Z-Profile unter Stauch-Crashbelastung.

300 mm und wird mittig in die Stahlprofile eingepresst. Als FVK kam ein Prepreg der Firma SGL zum Einsatz. Das neun lagige unidirektionale Kohlenstofffaser-Prepreg weist fünf Lagen mit 0° Ausrichtung sowie vier Lagen mit 90° Ausrichtung auf: (90/0/0/90/0/90/0/0/90). Durch die äußeren Lagen in Umformrichtung (90°) wird der Einzug des Prepregs in die Bauteilform begünstigt. Daneben verhindern die 90° Lagen ein undefiniertes Durchmischen sowie eine signifikante Faserverschiebung der 0° Lagen. Als Prozessparameter wurden eine Konsolidierungstemperatur von  $T = 180\text{ °C}$  und eine Voraushärtungszeit von  $t = 120$  Sekunden gewählt. Der Konsolidierungsdruck betrug  $p = 0,3\text{ MPa}$ . In allen Fällen wurde die Restaushärtung der Proben in einem nachgeschalteten Ofenprozess bei  $180\text{ °C}$  und einer Zeit von 30 Minuten realisiert.

In Abbildung 13 sind die mittleren Kräfte sowie die maximalen Verformungswege aus Stauch-Crashuntersuchungen für verschiedene Kombinationen von Stahl- und Hybrid-Doppel-Z-Profilen dargestellt. Die Hybridvariante 2 (1,5 mm DD11-Stahl und 2,0 mm CFK) erreicht eine fast doppelt so hohe spezifische mittlere Kraft wie die reine Stahl-Lösung 1. Für die Kombination aus 2,0 mm DD11-Stahl und 2,0 mm CFK ist der Einfluss deutlich geringer. Die Hybridvariante 4 erreicht hier eine um 10 Prozent höhere spezifische mittlere Kraft als die reine Stahl-Lösung 3. Hieraus lassen sich zwei wesentliche Erkenntnisse ableiten: Zum einen muss die Prepreg-Verstärkung dem jeweiligen Grundwerkstoff angepasst werden. Neben der Blech- bzw. Prepreg-Dicke müssen hier auch spezifische Materialkennwerte Beachtung finden. Zum anderen ist jedoch auch das enorme Leichtbaupotenzial von Hybridwerkstoffen erkennbar.

**Selektives Laserschmelzen: Herstellung hochkomplexer Leichtbaustrukturen**

Komplexe Leichtbaustrukturen mit nahezu kompletter Designfreiheit, werkzeuglos hergestellt – diese Möglichkeit bietet das selektive Laserschmelzen (SLM), das eines der Verfahren darstellt, die im Direct Manufacturing Research Center (DMRC) der Universität Paderborn erforscht werden. Ob für die Luftfahrtindustrie, die Medizintechnik oder auch die Automobiltechnik, das selektive Laserschmelzen bietet insbesondere in der Kleinserienproduktion enorme Vorteile durch die Fertigung genau an die Erfordernisse angepasster Bauteile.

Beim selektiven Laserschmelzen von Metallen wird das Ausgangsmaterial in Pulverform schichtweise (Schichtdicke 30 bis 80  $\mu\text{m}$ ) aufgetragen. Mit Hilfe eines 400 W-Faserlasers werden dann in jeder aufgetragenen Schicht die Bauteilbereiche belichtet und aufgeschmolzen, so dass sich das aufgeschmolzene Pulver mit der vorherigen Schicht verbinden kann. Durch diesen „Auftragsschweißprozess“ im kleinen Maßstab entsteht so Schicht für Schicht ein beliebig komplexes Bauteil. Bei der Materialauswahl stehen hier alle schweißbaren Metalle zur Verfügung. Überschüssiges Pulvermaterial wird im Anschluss des Bauprozesses gesiebt und erneut verwendet.

Vergleichbar mit einem Gießprozess, lässt sich mit dem SLM-Verfahren eine fast beliebige Geometrie erstellen. Da beispielsweise Wanddicken lokal variiert oder Versteifungen an beliebigen Stellen eingebaut werden können, ist es möglich, an jeder Stelle genau die Menge an Material einzusetzen, die entsprechend der Beanspruchung auch gebraucht wird. Der Materialausnutzungsgrad ist damit extrem hoch und das Gewicht der Konstruktion entspre-



Abb. 14: Leichtbaustrukturen aufgebaut mittels selektiven Laserschmelzens.

chend niedrig. In Kombination mit der Möglichkeit, verschiedenste Werkstoffe einsetzen zu können, lassen sich extrem filigrane und leichte Konstruktionen erstellen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren praktisch nicht darstellbar sind.

Mit dem SLM-Verfahren hergestellte komplexe Leichtbaustrukturen zeigt Abbildung 14. Im Fall der Halbkugel wurde beispielsweise das Innere durch eine Gitterstruktur ersetzt, die für eine sehr hohe Stabilität bei gleichzeitig geringem Gewicht sorgt. Dieses Beispiel zeigt eindrucksvoll, welche Möglichkeiten der Strukturherstellung das SLM-Verfahren bietet. Die größten Herausforderungen bei dieser Technologie liegen heute noch in den relativ hohen Kosten. Darüber hinaus sind Qualitätsstandards z. B. für die Reproduzierbarkeit oder die Fertigungstoleranzen umzusetzen, wie sie bei konventionellen Bauteilen im Automobilbereich gefordert werden. Dazu sind grundlegende Forschungsarbeiten durchzuführen, um die Einflussgrößen bei der Herstellung von SLM-Bauteilen zu identifizieren und zu analysieren. Dazu zählen u. a. die Laserparameter, die Pulverqualität, die Vorerwärmung des Pulvers, Belichtungsstrategien oder auch nachgeschaltete Prozesse wie Wärmebehandlungen. In diesen Bereichen ist der Lehrstuhl für Leichtbau im Automobil an verschiedenen Projekten im DMRC beteiligt.

### Zusammenfassung

Leichtbau im Automobil ist durch verschiedenste Technologien realisierbar. Generell bieten diejenigen Ansätze das größte Leichtbaupotenzial, mit denen belastungsangepasste Bauteile hergestellt werden können. Dazu müssen lokal variable Eigenschaftsprofile erzeugt werden, was durch die Variation der Werkstoffeigenschaften selbst oder durch die lokale Kombination artfremder Werkstoffe innerhalb eines Bauteils geschehen kann.

In diesem Kontext können neuartige Stahlwerkstoffe eingesetzt werden, die durch ihre morphologischen Eigenschaften entweder durch spezielle Gefügemodifikationen oder auch in Kombination miteinander zu unterschiedlichen Bauteilei-

genschaften beitragen können. Neben den klassischen Karosseriewerkstoffen ist dabei ein deutlicher Trend zu immer höherfesten Stahlgüten vor allem in hochbelasteten Bauteilen der Fahrzeugkarosserie zu erkennen.

Eine Möglichkeit, lokale Eigenschaftsvariationen innerhalb einer Komponente zu erzeugen, bietet die partielle induktive Härtung. Mit diesem Verfahren ist es möglich, die Festigkeit von Stahlwerkstoffen enorm zu steigern. Bei der Herstellung von Leichtbaustrukturen muss die erforderliche Wanddicke damit nicht mehr nach der Stelle der höchsten Belastung ausgewählt werden, sondern es kann für das gesamte Bauteil eine geringere Wanddicke gewählt werden, die in den hochbeanspruchten Bereichen durch eine partielle Härtung verstärkt wird. Somit wird die Werkstoffausnutzung generell verbessert und das Gewicht des Bauteils reduziert. Die Finite-Elemente-Simulation ist dabei ein unabdingbares Werkzeug bei der Optimierung der Strukturen.

Höchstfeste Hybridwerkstoffe, bei denen Metalle und Faserverbundkunststoffe kombiniert werden, bieten eine weitere Möglichkeit, lokal unterschiedliche Eigenschaften in Komponenten abzubilden. Die Pressverarbeitung vorimprägnierter Prepregs bietet dabei eine Möglichkeit, Leichtbauteile entsprechend den Spezifikationen der Automobilindustrie herzustellen. Die realisierbaren Taktzeiten liegen deutlich unter fünf Minuten (aktuell meist über 15 Minuten), wobei die Restaushärtung des Matrixharzes in einem nachgeschalteten Lackierprozess erfolgt. Die Kombination der Faserverbundkomponente mit einer Stahlstruktur ermöglicht darüber hinaus die Einbindung der Bauteile in bestehende Strukturen mittels konventioneller Fügeverfahren wie etwa dem Punktschweißen.

Auch das selektive Laserschmelzen erlaubt es, beanspruchungsgerechte, hochkomplexe Leichtbaustrukturen herzustellen, die durch konventionelle Fertigungsverfahren kaum darstellbar sind. Gerade dieses Verfahren erlaubt eine sehr weitgehende lokale Anpassung der Strukturen an die Beanspruchungen, so dass höchste Materialausnutzungsgrade und damit geringste Gewichte erzielt werden können.

**Danksagung**

Die vorgestellten Ergebnisse auf dem Gebiet der Hybridwerkstoffe wurden in einem Verbundprojekt im Rahmen des Ziel<sub>2</sub>-Programms (Wettbewerb: Produktion. NRW) erarbeitet. Die Autoren bedanken sich beim Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) der Europäischen Union sowie dem Land Nordrhein-Westfalen für die Unterstützung des Vorhabens. Daneben gilt ein besonderer Dank den übrigen Projektpartnern Audi AG, Benteler-SGL GmbH & Co. KG, Joh. Meier Werkzeugbau GmbH sowie den Lehrstühlen LUF, LTM und LWK der Universität Paderborn für die gute und konstruktive Zusammenarbeit.

**LITERATUR**

[1] GOEDE, M.: KAROSSERIELEICHTBAU ALS BAUSTEIN EINER CO<sub>2</sub>-REDUZIERUNGSSTRATEGIE. 16. AACHENER KOLLOQUIUM FAHRZEUG- UND MOTORENTECHNIK, AACHEN, 2007.

[2] SCHINDLER, V.; SIEVERS, I.: FORSCHUNG FÜR DAS AUTO VON MORGEN. SPRINGER VERLAG, BERLIN, HEIDELBERG, 2008.

[3] ULTRA LIGHT STEEL AUTO BODY – ULSAB, PHASE 2 ENDGAME PRESENTATION PACKAGE. THE ULSAB CONSORTIUM, 1998.

[4] KRÖFF, A.; BÜSCHER, M.: SCALIGHT – AUF DEM WEG ZUR INTELLIGENTEN ROHBAUARCHITEKTUR. VORTRAG, 5TH INTERNATIONAL STRATEGY CONFERENCE WASA, WORLD AUTOMOTIVE STEEL ASSEMBLY, S. 27-41, BERLIN, 2006.

[5] JÄSCHKE, A.; DAJEK, U.: DACHRAHMEN IN HYBRIDBAUWEISE. SONDERDRUCK AUS VDI-TAGUNGSBAND NR. 4260, S. 25-45, VDI VERLAG, DÜSSELDORF, 2004.

[6] GRASSER, S.: COMPOSITE-METALL-HYBRIDSTRUKTUREN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG GROSSERIENTAUGLICHER FERTIGUNGSPROZESSE. SYMPOSIUM MATERIAL INNOVATIV, ANSBACH, 2009.

[7] LAUTER, C.; TRÖSTER, T.; SKÖCK-HARTMANN, B.; GRIES, T.; LINKE, M.: HÖCHSTFESTE MULTIMATERIALSYSTEME AUS STAHL UND FASERVERBUNDKUNSTSTOFFEN. VDI KONSTRUKTION: INGENIEUR-WERKSTOFFE, AUSGABE: 11-12/2010, S. IW 8-IW 9, SPRINGER-VDI-VERLAG, DÜSSELDORF, 2010.

[8] MACIEJ, M.: FASERVERBUNDKUNSTSTOFFE: VON DER KLEINSERIENFERTIGUNG VON SICHTBAUTEILEN ZUR GROSSERIENPRODUKTION VON STRUKTURTEILEN. INNO MATERIA – INTERDISZIPLINÄRE KONGRESSMESSE FÜR INNOVATIVE WERKSTOFFE, KÖLN, 2011.

**Kontakt:**

**Prof. Dr. Thomas Tröster**

**Fakultät für Maschinenbau**

**Lehrstuhl für Leichtbau im Automobil (LiA)**

**05251 60-5331**

**thomas.troester@uni-paderborn.de**



Das Projekt-Team: Vordere Reihe von rechts nach links: Prof. Dr. Thomas Tröster, Jörg Niewel, Thorsten Marten, Jessica Klauke, Valentin Ulfig. Mittlere Reihe von rechts nach links: Holger Block, Markus Thöne, Meike Frantz, Lukas Stumpp. Hintere Reihe von rechts nach links: Stefan Leuders, Bernd Siewers, Dieter Thomas, Christian Lauter. Es fehlt: Nathalie Weiß.

# Gesund und erfolgreich in Paderborn studieren (GriPs)

## Analyse studentischer Lebensstile

Prof. Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck, Dr. Astrid Kämpfe, Dipl.-Sportwiss. Carolin Köster

**Der Arbeitsbereich Sportpädagogik und -didaktik untersucht gesundheitsrelevante Lebensstile von Paderborner Studierenden. Mit Hilfe einer Online-Befragung wurden im Sommersemester 2010 1 884 Studierende zu ausgewählten Aspekten rund um den Bereich „Gesundheit und Belastung im Studium“ befragt, um auf Basis dieser Ergebnisse gesundheitsförderliche Maßnahmen für den Standort Paderborn zu entwickeln und im kommenden Wintersemester 2011/2012 zu implementieren. Das vorliegende Projekt vereint empirische Forschung mit praxisorientierter Umsetzung im universitären Umfeld.**

Mit der Aufnahme eines Studiums beginnt für viele junge Menschen in der Regel ein neuer Lebensabschnitt: Der Auszug aus dem Elternhaus, zahlreiche neue soziale Kontakte sowie die Erfordernis eigenverantwortlichen Arbeitens sind nur einige der Aspekte, mit denen sich Studierende vor allem zu Studienbeginn auseinander zu setzen haben. Damit kann der Übergang von der Schule zur Universität als kritisches Lebensereignis bezeichnet werden, wobei der Begriff hier zunächst neutral zu verstehen ist und sowohl Chancen als auch Risiken birgt (vgl. Hetze, Schmidt-Wenzel & Sperber, 2005). Das Gefährdungspotenzial wird insgesamt aber als hoch eingeschätzt: Studierende sehen sich im Zuge der veränderten Rahmenbedingungen und neu konzipierten Studiengänge möglicherweise mit einer zunehmenden Doppelbelastung konfrontiert. Es ist anzunehmen, dass sich in dieser Phase der besonderen Herausforderungen oftmals auch bedeutende Veränderungen bezüglich der gesundheitsrelevanten Verhaltensweisen ergeben.

In deutschen Hochschulen wird schon seit etwa einem Jahrzehnt der Gegenstand Gesundheitsförderung thematisiert. Doch sind bisher fast ausschließlich Mitarbeiter im Fokus der Aufmerksamkeit und als Zielgruppe für entsprechende Maßnahmen im Blick. Die studentische Population, die in der Regel die mit Abstand größte Statusgruppe an Hochschulen ausmacht (Studierende 81 Prozent, nicht wissenschaftlich Beschäftigte elf Prozent, wissenschaftliche Beschäftigte acht Prozent; vgl. Meier, 2008, S. 38), rückt erst jüngst mit Blick auf das Thema Gesundheit in den Focus der Aufmerksamkeit.

### Gesundheitsstatus von Studierenden

Studierende sind eine vergleichsweise junge Bevölkerungsgruppe. Der Grund für die bisher fehlende Berücksichtigung im Bereich der Gesundheitsförderung dürfte sein, dass auf



**Prof. Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck** war seit Oktober 2008 Inhaber des Lehrstuhls Sportpädagogik und -didaktik im Department Sport und Gesundheit. Seine aktuellen Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Lebensstil- und der interkulturell vergleichenden Kinder- und Jugendsportforschung. Prof. Brandl-Bredenbeck ist seit Dezember 2011 an der Universität Augsburg tätig.

gesellschaftlicher Ebene das Attribut „jung“ vielfach mit Eigenschaften wie „aktiv“, „fit“ und auch „gesund“ in Zusammenhang gebracht wird. Dieser Wahrnehmung stehen in der jüngeren Vergangenheit stark zunehmende, teils alarmierende Berichte und Befunde gegenüber: Zum einen wird seit einiger Zeit in den Medien – zum Teil stark pointiert – über die Belastung Studierender berichtet, z. B.:

- Studenten im Stress. Wenn das Studium zum blanken Horror wird ([www.sueddeutsche.de](http://www.sueddeutsche.de), 2008).
- Volle Stundenpläne, viele Prüfungen, dazu Nebenjobs und Praktika: So manchem Bachelor- oder Masterstudenten wächst der Uni-Alltag über den Kopf ([www.welt.de](http://www.welt.de), 2011).
- Schlafstörungen, Magenkrämpfe, Beruhigungsmittel: Viele Hochschüler fühlen sich gestresst und überfordert, die Zahl der Hilfesuchenden wächst ([www.sueddeutsche.de](http://www.sueddeutsche.de), 2010).

Zum anderen weisen erste empirische Studien auf gesundheitliche Problembereiche in der Studierendenpopulation hin. So kommen beispielsweise Meier, Milz und Krämer (2007) für Studierende in NRW zu der Erkenntnis, dass bis zu 40 Prozent der Befragten über unterschiedliche Beschwerden, angefangen bei Konzentrationsschwierigkeiten über Rückenschmerzen und Schlafstörungen bis hin zu Ängsten und Phobien, klagen. Hinzu kommen negative Gesundheitsverhaltensweisen, wie z. B. Tabak- und Alkoholkonsum sowie schlechte Ernährungsgewohnheiten.

Auch ein Blick auf Arzneimittelverordnungen verdeutlicht, dass Studierende – vor allem im psychischen Bereich – gesundheitliche Defizite aufweisen, die für diese junge und vermeintlich gesunde Bevölkerungsgruppe untypisch sind (vgl. Techniker Krankenkasse, 2011).



Foto: Liebert

### Ziele des GriPs-Projekts

Diese Befunde wurden als Anlass zur Initiierung eines Projekts zum Thema „Studium und Gesundheit“ an der Universität Paderborn genommen. Gefördert von der Techniker Krankenkasse und in enger Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis Gesunde Hochschule und dem Hochschulsport der Universität Paderborn ist es unter dem Motto „Gesund und erfolgreich in Paderborn studieren“ (GriPs) das Ziel des Projekts, zum einen eine gesicherte Datenlage zu schaffen, die über bisher vorhandene Befunde hinausgeht. Zum anderen soll vor allem der Bereich der körperlichen Aktivität mit seinen nachweislichen positiven Gesundheitseffekten (z. B. Brehm, 2006) sowie die Stärkung psychosozialer Ressourcen in den Mittelpunkt gerückt werden. An den empirischen Teil anschließend gilt es aus den Ergebnissen konkrete Maßnahmen zur Verbesserung gesundheitsrelevanter Lebensstile bei den Paderborner Studierenden abzuleiten.

### WHO-Gesundheitsverständnis

Der Gesundheitsbegriff, der dem „GriPs“-Projekt zugrundeliegt, orientiert sich an der Definition der World Health Organisation (WHO) und umfasst somit das körperliche, geistige und soziale Wohlbefinden eines Menschen. Darüber hinaus wird Gesundheit hier im Sinne der Salutogenese (Gesundheitsentwicklung) als ein Prozess verstanden, für den ein aktives, kontinuierliches Mitwirken des Individuums notwendig ist – auch oder vor allem, wenn (noch) keine Krankheitssymptome vorliegen (vgl. Antonovsky, 1997). Das Verständnis, dass Gesundheit und damit Leistungsfähigkeit im Studium im genannten Sinne auch für Studierende

bedeutsam ist, scheint sich erst langsam zu entwickeln. Dass hier Handlungsbedarf besteht wird durch eine aktuelle Studie verdeutlicht, die belegt, dass der Griff zur medikamentösen Unterstützung der Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz gerade in Akademikerkreisen weit verbreitet ist (IGES, 2009). Um die Gesundheit von Studierenden zu erhalten oder wieder herzustellen, wird es auch darum gehen müssen, die individuellen und sozialen Ressourcen der Studierenden zu stärken. Bisher konnte die Gruppe der Studierenden für ein solches aktives Gesundheitsverhalten nicht in ausreichendem Maße erreicht werden. Aus diesem Grund erscheint es notwendig – neben weiterer Informations- und Aufklärungspolitik – zielgruppenspezifische gesundheitsfördernde Maßnahmen zu entwickeln und diese mit einem entsprechenden Anreizsystem zu koppeln.

### Lebensstilforschung als theoretisches Fundament – oder: Warum Studierende als Zielgruppe?

Mit Rückgriff auf die Lebensstilforschung wird angenommen, dass Lebensstile nach ihrem anfänglich proto-typischen Charakter einen transitorischen – noch nicht gefestigten – und erst später einen manifesten – kaum noch zu verändernden – Charakter annehmen (vgl. Bünemann, 2008). Studierende befinden sich in der Regel im Übergang von einem transitorischen zu einem manifesten Lebensstil, d. h. in dieser Lebensphase besteht eine realistische Chance, interventionsbedingte Veränderungen bezüglich der gesundheitsrelevanten Verhaltensweisen und Einstellungen zu erwirken. Es ist anzunehmen, dass sich individuelle Lebensstile entlang eines Kontinuums zwischen den beiden Polen „aktiv und gesund“ und „passiv und ungesund“ einordnen

lassen (z. B. Brandl-Bredenbeck, Keßler & Stefani, 2008). Maßgeblich bestimmt werden dürfte die jeweilige Einordnung auf diesem Kontinuum durch die Bereiche Bewegung, Ernährung und Stressempfinden sowie Medien-, Genussmittel- und Drogenkonsum, wobei vor allem bei der Bewegung und bei der Ernährung neben den quantitativen auch qualitative Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind. Neben diesen als zentral einzuschätzenden Aspekten kommt auch den persönlichen und sozialen Ressourcen eine große Bedeutung hinsichtlich des individuellen Lebensstils zu. Vor dem Hintergrund einer durchaus heterogenen Studierendenschaft und des hier aufgezeigten Facettenreichtums der Lebensstile erscheint es sinnvoll, im Rahmen der Datenauswertung eine Clusterbildung hinsichtlich der Lebensstile vorzunehmen. Auf diese Weise können Maßnahmen mit einer optimalen Passung entwickelt und damit eine höhere Anschlussfähigkeit an die Lebenswelt der Studierenden sowie die notwendige Langfristigkeit der Verhaltensänderungen initiiert werden.

### Aufbau und Umsetzung der komplexen Gesamtstudie

Die Gesamtstudie bedient sich der Methodentriangulation: Die in einer Online-Befragung gewonnenen quantitativen Daten werden durch qualitative Interviews mit Studierenden ergänzt. Im vorliegenden Beitrag werden exemplarisch Ergebnisse der quantitativen Teilstudie hinsichtlich der Einschätzung des Gesundheitszustandes sowie das Belastungsempfindens von Studierenden am Hochschulstandort Paderborn dargestellt. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen folgende Fragen:

- 1) Wie schätzen Studierende ihren subjektiven Gesundheitszustand ein? Gibt es Unterschiede bei der Einschätzung hinsichtlich Geschlecht oder Sportaktivität?
- 2) Wie beurteilen Studierende einzelne Situationen aus ihrem Studienalltag hinsichtlich des Stresspotenzials? Gibt es Unterschiede bei der Beurteilung hinsichtlich Geschlecht oder Sportaktivität?
- 3) Lassen sich in der studentischen Population Cluster auf Basis der Faktoren „Sportaktivität, Ernährung und Medienkonsum“ finden? Wie unterscheiden sich potenzielle

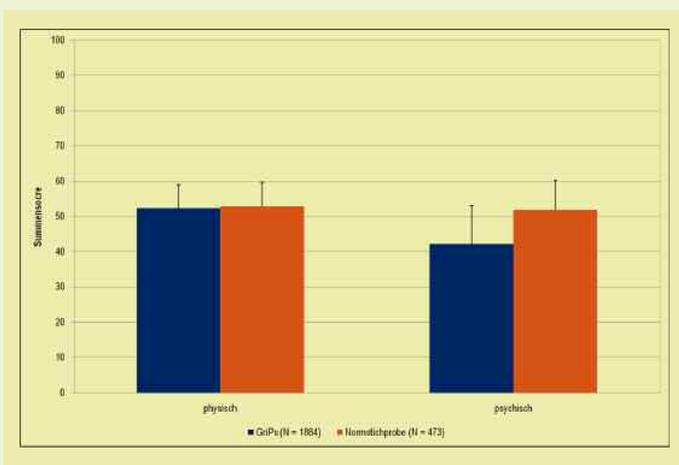


Abb. 1: Subjektiver Gesundheitszustand der Paderborner Studierenden im Vergleich zur gleichaltrigen Normstichprobe.

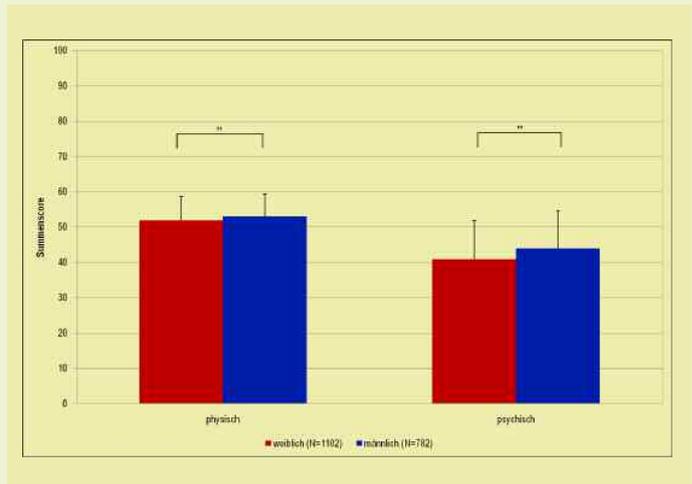


Abb. 2: Subjektiver Gesundheitszustand der Paderborner Studierenden differenziert nach Geschlecht (\*\*  $p < .01$ ).

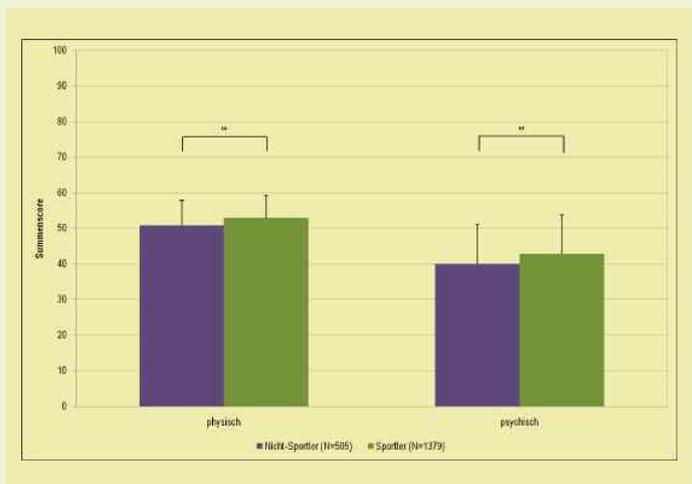


Abb. 3: Subjektiver Gesundheitszustand der Paderborner Studierenden differenziert nach Sportaktivität (\*\*  $p < .01$ ).

Cluster hinsichtlich der Einschätzung des subjektiven Gesundheitszustandes und des Belastungsempfindens im Studienalltag?

### Abfrage gesundheitsrelevanter Lebensstilfacetten

Inhaltliche Schwerpunkte der Gesamtstudie sind die lebensstilrelevanten Themenkomplexe Gesundheitsförderung, Gesundheitszustand, körperlich-sportliche Aktivität, Ernährungsverhalten, Mediennutzung, Substanzkonsum, psychosoziale Ressourcen, Schlafverhalten, Belastungsempfinden sowie Stressverarbeitung.

Der in diesem Beitrag dargestellte subjektive Gesundheitszustand der Studierenden wurde mit Hilfe der Kurzfassung des Fragebogens zum Gesundheitszustand (SF-12; Bullinger & Kirchberger, 1998) abgefragt. Auf Basis der zwölf Aussagen wurde jeweils ein Summenwert für den körperlichen und psychischen Gesundheitszustand gebildet. Dieser kann im Maximum einen Wert von 100 erreichen, welches einem ausgezeichneten Gesundheitszustand entspricht. Des Weiteren wurden einzelne Situationen im Studienalltag

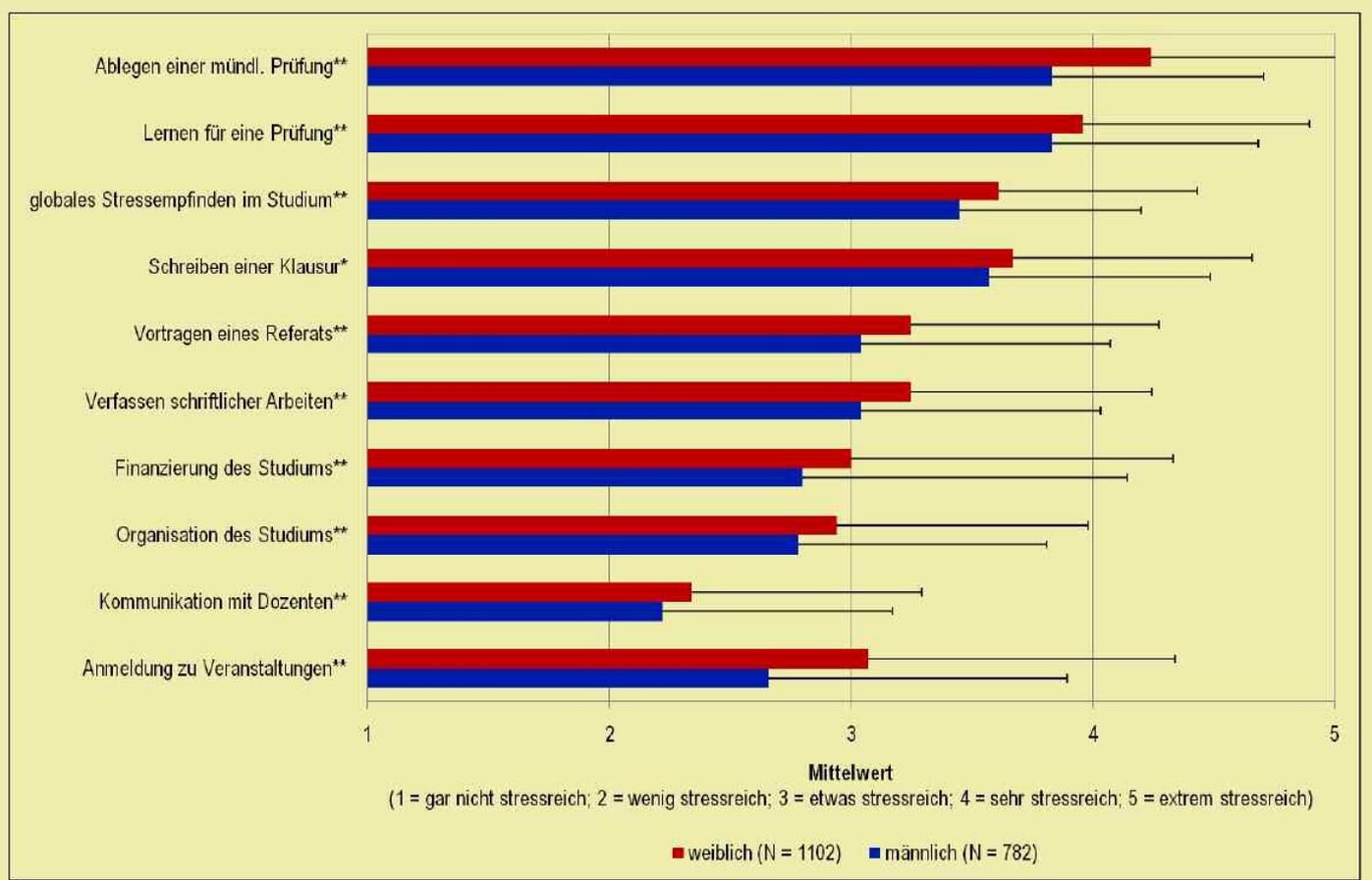


Abb. 4: Stressempfinden im Studienalltag der Paderborner Studierenden differenziert nach Geschlecht (\*\* p < .01; \* p < .05).

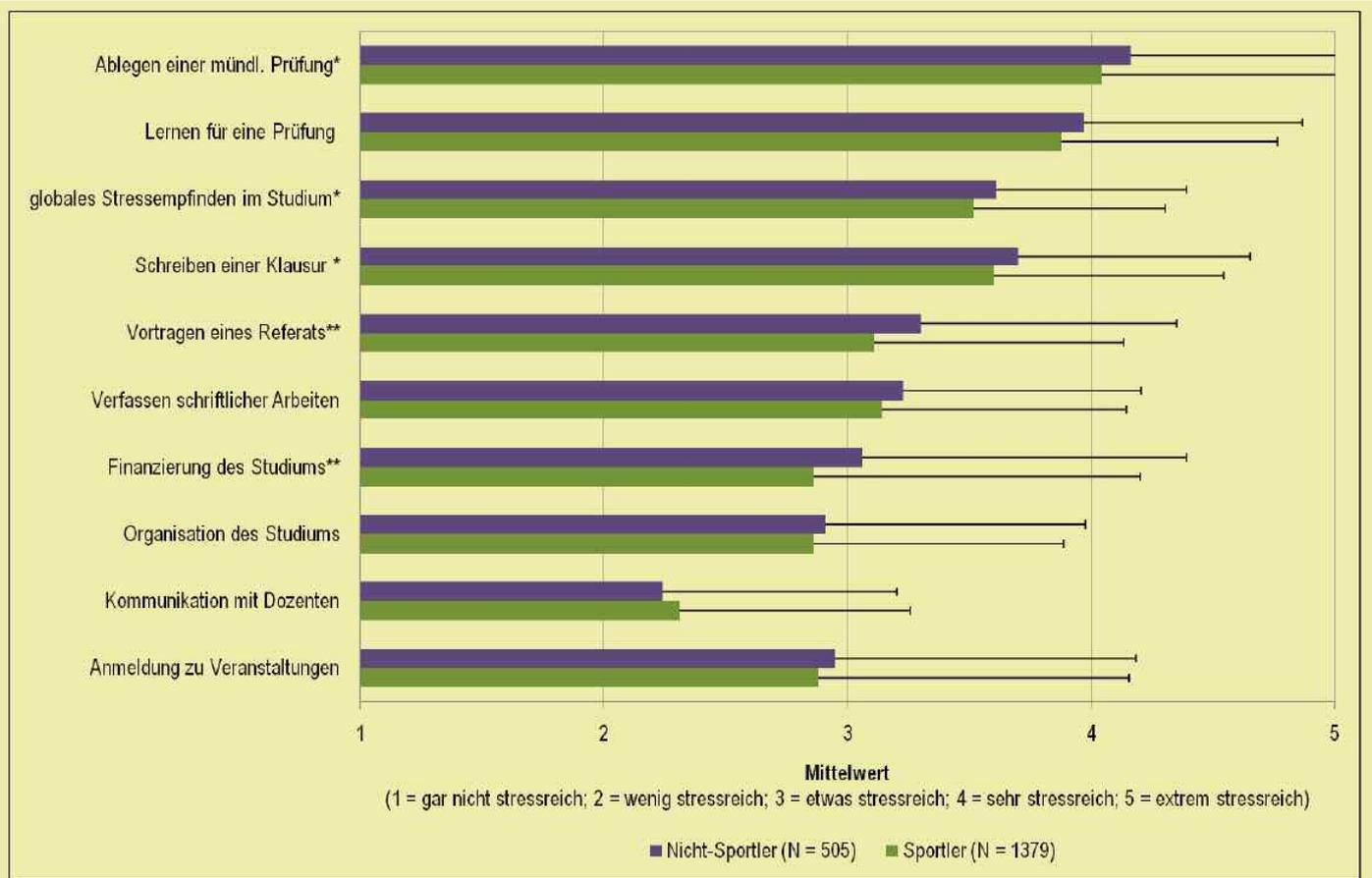


Abb. 5: Stressempfinden im Studienalltag der Paderborner Studierenden differenziert nach Sportaktivität (\*\* p < .01; \* p < .05).

	Cluster			
	1 (N = 602)	2 (N = 369)	2 (N = 369)	4 (N = 476)
Z-Wert (Spo_Akt_Gruppe)	0,90	-0,65	0,27	-0,88
Z-Wert (EMI_Gruppe)	-0,43	-0,16	1,40	-0,63
Z-Wert (Mediennutzung_ges)	0,36	-1,28	0,00	0,53
Clusterbezeichnung	„Die sportlich Aktiven“	„Die Abstinenten“	„Die Ernährungsfreaks“	„Die Couch-Potatoes“

Tab. 1: Clusterlösung für die Paderborner Studierenden (N = 1 884).

abgefragt, die auf einer fünfstufigen Skala im Hinblick auf das Stressempfinden bewertet werden sollten (1 = „gar nicht stressreich“, 5 = „extrem stressreich“). Zu diesen Studiensituationen gehören neben dem globalen, allgemeinen Belastungsempfinden einerseits prüfungsspezifische und andererseits organisatorische Aspekte des Studiums. Die Sportaktivität wurde über die Frage „Sind Sie regelmäßig sportlich aktiv“ abgefragt (Antwortkategorie: „ja“, „nein“) bevor detailliertere Informationen zum Bewegungs- und Sportverhalten erfragt werden.

**1 884 Studierende beteiligen sich am GriPs-Projekt**

Die Personstichprobe enthält N = 1 884 Paderborner Studierende, die an der Online-Befragung teilnahmen (♀ = 58,5 Prozent; ♂ = 41,5 Prozent). Das durchschnittliche Alter der Befragungsteilnehmer und Befragungsteilnehmerinnen beträgt 23,0 Jahre bei einer Standard Deviation (SD) von 3,18 Jahre, wobei 39,1 Prozent Studienanfänger, 35,5 Prozent Studierende im dritten bis sechsten Semester, 19,4 Prozent im siebten bis zehnten Semester und 6,0 Prozent in höheren Semestern sind.

**Ergebnisse**

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Anlehnung an die oben genannten Fragestellungen. Zuerst wird der Fokus auf die Einschätzung des subjektiven Gesundheitszustandes gelegt, bevor die Bewertung der einzelnen Belastungssituationen im Studienalltag erfolgt. Abschließend werden die Clusteranalysen vorgestellt.

**Subjektiver Gesundheitszustand der Paderborner Studierenden: psychisch schlechter als physisch**

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse zur Einschätzung des Gesundheitszustandes der Paderborner Studierenden im Vergleich zu einer gleichaltrigen Normstichprobe (vgl. Bullinger & Kirchberger, 1998). Die Versuchspersonen beurteilen ihren physischen Gesundheitszustand auf einem ähnlichen Niveau wie die Befragten der Normstichprobe (N = 473 gesunde Personen im Alter von 21 bis 30 Jahren). Die Einschätzung der psychischen Gesundheit hingegen fällt bei den Paderborner Studierenden mit einem Mittelwert von 42,14 (SD ± 10,98) deutlich schlechter aus als die Bewertung durch die Normstichprobe (51,92; SD ± 8,35).

Die differenzierte Ergebnisbetrachtung des physischen und psychischen Gesundheitszustandes in Abhängigkeit vom Geschlecht zeigt sowohl im Hinblick auf die physische als auch auf die psychische Gesundheit signifikante Gruppenunterschiede: Die männlichen Studierenden schätzen sowohl ihren körperlichen als auch ihren psychischen Gesundheitszustand signifikant besser ein als ihre Kommilitoninnen (vgl. Abbildung 2). Zudem beurteilen Nicht-Sportler ihren physischen und psychischen Gesundheitszustand signifikant schlechter als Sportler (vgl. Abbildung 3).

**Belastungsempfinden der Paderborner Studierenden im Studienalltag: Prüfungssituationen stressreicher als organisatorische Situationen**

Mit Blick auf den Studienalltag bewerten die Paderborner Studierenden Situationen, die sich auf Prüfungen beziehen, stressreicher als Bereiche, welche die Organisation des Studiums betreffen. Die geschlechtsspezifische Betrachtung dieser Daten zeigt, dass sich Studentinnen in allen aufgeführten Bereichen stärker belastet fühlen als ihre männlichen Kommilitonen (vgl. Abbildung 4). Auch die Unterscheidung hinsichtlich sportlicher Aktivität bzw. Inaktivität der Studierenden ergibt einige Gruppenunterschiede: in fünf von neun Einzelsituationen ergeben sich signifikante Unterschiede. So wird das globale Stressempfinden, das Ablegen einer mündlichen Prüfung, das Schreiben einer Klausur, die Finanzierung des Studiums sowie die Kommunikation mit

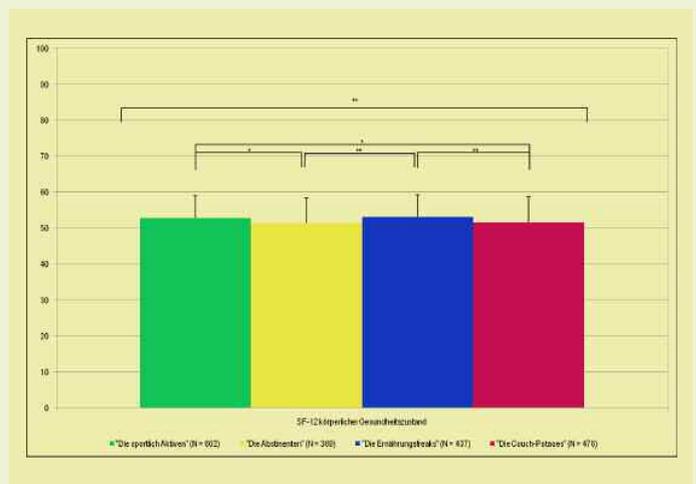


Abb. 6: Physischer Gesundheitszustand in den einzelnen Clustern (\*\* p < .01; \* p < .05).

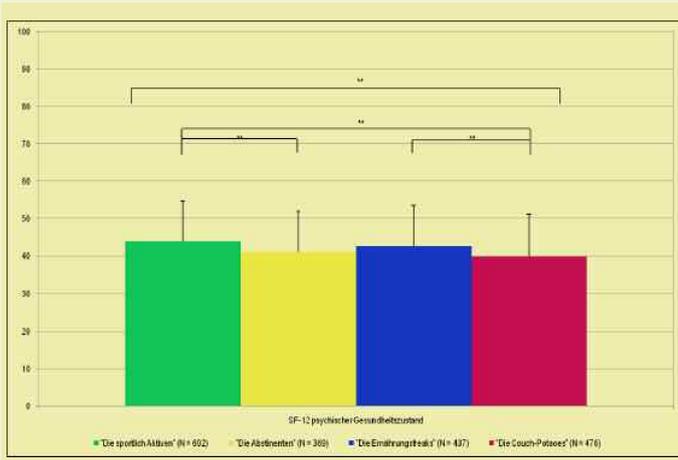


Abb. 7: Psychischer Gesundheitszustand in den einzelnen Clustern (\*\* p < .01).

Dozenten von sportlich inaktiven Studierenden stressreicher empfunden als von sportlich aktiven Studierenden (vgl. Abbildung 5). Hier kommt möglicherweise zum Tragen, dass körperliche und sportliche Aktivität individuelle Ressourcen zur Bewältigung psychischer Belastungen stärken.

**Clusteranalyse – Heterogenität der Studierendenschaft**

Die Clusteranalyse ist ein strukturentdeckendes Verfahren mit dem Ziel, in der Gesamtheit der Stichprobe bestimmte Gruppen zu finden, die sich einerseits innerhalb der Gruppe durch eine größtmögliche Homogenität auszeichnen und andererseits zwischen den Gruppen möglichst deutliche Unterschiede aufweisen. Die für die durchgeführte Clusteranalyse zu Grunde gelegten Variablen sind die sportliche Aktivität (eingeteilt in fünf Gruppen unterschiedlicher zeitlicher Dauer der Betätigung), der Ernährungsmusterindex (eingeteilt in drei Gruppen), sowie der Medienkonsumindex (der sich aus der Summe des Medienkonsums des Computers, des Fernsehers und der Spielkonsole berechnet). Erreicht eine dieser Variablen einen Wert von +1, so ist die Ausprägung im Sinne der Variablen extrem positiv, erreicht sie den Wert -1, so ist die Ausprägung im Sinne der Variablen extrem negativ. Der Wert 0 bedeutet, dass ein Verhalten genau dem Durchschnitt der Gesamtstichprobe entspricht. Für die Paderborner Stichprobe ergibt sich eine Vier-Cluster-Lösung, die in Tabelle 1 dargestellt wird.

Die Studierenden in Cluster 1 zeichnen sich durch einen hohen positiven Wert (M = 0,90) für die sportliche Aktivität aus und sind somit deutlich sportlich aktiver als der Durchschnitt der Paderborner Studierenden. Bezogen auf die Ernährung nach den Empfehlungen der DGE liegen die Studierenden dieses Clusters unter dem Durchschnitt (M = -0,43) und bezogen auf die Mediennutzung (M = 0,36) etwas über dem Durchschnitt der Paderborner Studierenden. Dieses Cluster wird mit dem Titel „Die sportlich Aktiven“ bezeichnet.

Das zweite Cluster kann mit dem Titel „Die Abstinenten“ belegt werden. Die diesem Cluster zugehörigen Studierenden sind wenig sportlich aktiv (M = -0,65), ernähren sich schlecht (M = -0,16) und konsumieren deutlich weniger Medien (M = -1,28) als der Durchschnitt der Paderborner

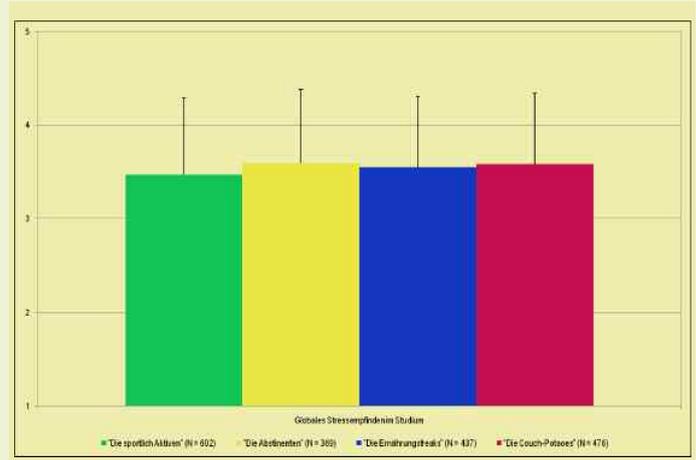


Abb. 8: Globales Stressempfinden in den einzelnen Clustern.

Studierenden. Im dritten Cluster sind „die Ernährungsfreaks“ zu finden, die im Vergleich zur Gesamtstichprobe einen sehr positiven Ernährungsmusterindex aufweisen (M = 1,40). Zudem sind diese Studenten und Studentinnen sportlich aktiv (M = 0,27) und konsumieren Medien (M = 0,00) wie der Durchschnitt der Paderborner Studierenden. Im vierten Cluster sind die „Couch-Potatoes“ zu finden, die sich durch wenig Sportaktivität (M = -0,88) und einen höheren Medienkonsum (M = 0,53) auszeichnen. Zudem liegt der Ernährungsmusterindex dieser Studierenden unter dem der Gesamtstichprobe (M = -0,63).

In das Cluster „Die sportlich Aktiven“ fallen N = 602 Studierende, wobei dieses Cluster zu 55,5 Prozent von Studenten dominiert ist. Im Cluster „Die Abstinenten“ sind N = 369 Studentinnen und Studenten zu finden. Dieses Cluster wird zu 57,5 Prozent von weiblichen Studierenden gebildet. Im Cluster 3, den „Ernährungsfreaks“, sind N = 437 Versuchspersonen zu finden, von denen 77,3 Prozent weibliche Studierende vertreten sind. Dem vierten Cluster, den „Couch-Potatoes“ sind insgesamt N = 476 Studierende zugeordnet, wobei ebenfalls mit 59,7 Prozent von Studentinnen dominiert wird.

Die vier Cluster werden in einem letzten Schritt als Grundlage weitere Analysen genutzt. Betrachtet werden potenzielle clusterspezifische Unterschiede hinsichtlich der Einschätzung des physischen und psychischen Gesundheitszustandes sowie des globalen Stressempfindens. Hinsichtlich der Einschätzung des physischen und psychischen Gesundheitszustandes bezogen auf die einzelnen Cluster gibt es jeweils einen Effekt über alle Gruppen, d. h. die vier Cluster unterscheiden sich signifikant von einander hinsichtlich des subjektiven Gesundheitszustandes. Zudem gibt es Unterschiede im Vergleich einzelner Cluster untereinander (vgl. Abbildung 6 und 7). Wird das globale Stressempfinden als ein übergeordneter Indikator für das Belastungsempfinden in Abhängigkeit von den einzelnen Clustern betrachtet, so finden sich keine Unterschiede für die Paderborner Studierenden (vgl. Abbildung 8). Dies bedeutet, dass die Ausprägung der Variablen sportliche Aktivität, Ernährungsmusterindex und Medienkonsum keinen Einfluss auf die Einschätzung des globalen Stressempfindens besitzen.

**Konsequenzen  
und Zusammenfassung**

Aus der Online-Befragung des GriPs-Projekts lassen sich nach den ersten Auswertungen folgende zentrale Befunde festhalten:

- (1) Die psychische Gesundheit scheint ein Problembereich der studentischen Population zu sein. Die Daten stützen die Vermutung, dass das Studium mit einem hohen Gefährdungspotenzial vor allem hinsichtlich der psychischen Gesundheit einhergeht.
- (2) Zudem finden sich Gruppenunterschiede hinsichtlich der Geschlechts- und Aktivitätsspezifika. Weibliche Studierende sowie sportabstinente Studierende schätzen ihren eigenen Gesundheitszustand schlechter ein und empfinden Belastungen im Studienalltag stressreicher als männliche und sportlich aktive Studierende.
- (3) Die hohen Streuungen in den dargestellten Ergebnissen deuten auf eine ausgeprägte Individualität der Lebensstilfacetten hin, so dass die Notwendigkeit einer sehr differenzierten Datenanalyse unter Rückgriff auf Clusterverfahren etc. bestätigt wird. Gleichwohl scheinen die bisher ermittelten Cluster die studentischen Lebensstile in ihrer Komplexität noch nicht vollständig zu erfassen, um Gruppenunterschiede hinsichtlich gesundheitsrelevanter Aspekte adäquat herausfiltern zu können. An dieser Stelle knüpfen die weiteren Forschungsbemühungen des Projekts und der Arbeitsgruppe an.

**Literatur**

ANTONOVSKY, A. (1997). SALUTOGENESE: ZUR ENTMYSTIFIZIERUNG DER GESUNDHEIT. TÜBINGEN: DGVT-VERLAG.

BRANDL-BREDENBECK, H.P., KESSLER, C. & STEFANI M. (2008). KINDER HEUTE – BEWEGUNGSMUFFEL, FAST FOOD JUNKIES, MEDIENFREAKS? LEBENSSTILE UND GESUNDHEITSVRHALTEN IM INTERNATIONALEN VERGLEICH. IN V. OESTERHELT, J. HOFMANN, M. SCHIMANSKI, M. SCHOLZ & H. ALTENBERGER (HRSG.), SPORTPÄDAGOGIK IM SPANNUNGSFELD GESELLSCHAFTLICHER ERWARTUNGEN, WISSENSCHAFTLICHER ANSPRÜCHE UND EMPIRISCHER BEFUNDE (S. 292-294). HAMBURG: CZWALINA.

BREHM, W. (2006). GESUNDHEITSSPORT: EIN ZENTRALES ELEMENT DER PRÄVENTION UND DER GESUNDHEITSFÖRDERUNG. IN K. BÖS & W. BREHM (HRSG.), HANDBUCH GESUNDHEITSSPORT (S. 7-30). SCHORNDORF: HOFMANN.

BULLINGER, M. & KIRCHBERGER, I. (1998). SF-36 FRAGEBOGEN ZUM GESUNDHEITZUSTAND. HANDANWEISUNG. GÖTTINGEN: HOGREFE.

BÜNEMANN, A. (2008). ENERGIEBILANZRELEVANTE LEBENSSTILE VON HERANWACHSENDEN. EIN MULTIVARIATER ERKLÄRUNGSANSATZ FÜR ÜBERGEWICHT UND ADIPOSITAS IM KINDES- UND JUGENDALTER. NORDERSTEDT: GRIN VERLAG.

HETZE, A.-M., SCHMIDT-WENZEL, A. & SPERBER, M. (2005). KRITISCHE LEBENSEREIGNISSE ALS CHANCE ZUR KOMPETENZ-

ENTWICKLUNG. DRESDEN: SAXOPRINT GMBH.

IGES (2009). GESUNDHEITSREPORT 2009. ANALYSE DER ARBEITSUNFÄHIGKEITSDATEN. SCHWERPUNKTTHEMA DOPING AM ARBEITSPLATZ. HAMBURG: DAK.

MEIER, S. (2008). GESUNDHEITSFÖRDERNDE HOCHSCHULEN. NEUE WEGE IM SETTING HOCHSCHULE AM BEISPIEL DES MODELLPROJEKTS „GESUNDHEITZIRKEL FÜR STUDIERENDE“. UNIVERSITÄT BIELEFELD: DISSERTATION.

MEIER, S., MILZ, S. & KRÄMER, A. (2007). GESUNDHEITSSURVEY FÜR STUDIERENDE IN NRW. UNIVERSITÄT BIELEFELD: PROJEKTBERICHT. [ZUGRIFF AM 05.02.09 UNTER [HTTP://WWW.GESUNDHEITSFÖRDERNDE-HOCHSCHULEN.DE/INHALTE/F\\_GESUNDHEITSSURVEY\\_NRW/PROJEKTBERICHT\\_GES\\_SUR\\_NRW.PDF](http://www.gesundheitsfoerdernde-hochschulen.de/inhalte/f_gesundheitssurvey_nrw/projektbericht_ges_sur_nrw.pdf)].

TECHNIKER KRANKENKASSE (2011). GESUNDHEITSREPORT 2011. GESUNDHEITLICHE VERÄNDERUNGEN BEI JUNGEN ERWACHSENEN UND STUDIERENDEN. HAMBURG: TECHNIKER KRANKENKASSE.



**Dr. Astrid Kämpfe** ist seit 2009 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Sportpädagogik und -didaktik im Department Sport und Gesundheit. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen an der Schnittstelle zwischen Sportpädagogik und Sportpsychologie; aktuell befasst sie sich mit der Vermittlung psychoregulatorischer Fertigkeiten im Sportunterricht.



**Dipl.-Sportwiss. Carolin Köster** ist seit März 2007 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Sportpädagogik und -didaktik im Department Sport und Gesundheit. Sie promoviert im Projekt „Studium heute – gesundheitsfördernd oder gesundheitsgefährdend? Eine Lebensstilanalyse“.

**Kontakt:**

**Dipl.-Sportwiss. Carolin Köster**

**Fakultät für Naturwissenschaft**

**Department Sport und Gesundheit**

**Sportpädagogik und -didaktik**

**05251 60-5306**

**[cckoester@mail.upb.de](mailto:cckoester@mail.upb.de)**

# Automatismen – Strukturentstehung außerhalb geplanter Prozesse

Paderborner Graduiertenkolleg zwischen Kulturwissenschaft und Informatik

Prof. Dr. Hannelore Bublitz, Prof. Dr. Hartmut Winkler

„Die Automatismen haben versagt“, dieser Satz fällt immer dann, wenn eingespielte Abläufe, die „wie im Schlaf“ funktionieren sollten, nicht greifen. Automatismen sind Vorgänge, die ohne erkennbare – externe – Steuerung oder Kontrolle, dezentralisiert und ohne Masterplan ablaufen. Wo sich Schemata und Stereotypen herausbilden, geht es häufig um Automatismen: Komplizierte Handlungssequenzen werden auf schnell abrufbare Techniken reduziert und auf ökonomische Weise handhabbar gemacht. Überall dort, wo Akteure unabhängig voneinander und vernetzt handeln, wo Technik nicht durch „Erfindung“, sondern in enger Wechselbeziehung zu Nutzungsprozessen entsteht, wo sich Gewohnheiten, Codes, Habitus oder implizite Regeln herausbilden, überall dort kann man „Automatismen“ in Arbeit zeigen, in dem Sinne, dass es zwar Regeln gibt, nicht aber Regulierung, zwar Wiederholung, nicht aber ein vorab definiertes Muster. Undurchsichtig bleibt in der Regel, was dabei genau passiert.

## Selbststeuerung, Handlungsrouninen, kollektive Selbstorganisation

Das interdisziplinäre und fakultätsübergreifende Graduiertenkolleg „Automatismen“ untersucht das Spektrum von Prozessen der Selbststeuerung sowie deren Genese und Vollzug. Situier in einem aktuellen Forschungsgebiet selbst-regulierter Prozesse, reicht die Spannung des Automatismuskonzepts von der Selbsttätigkeit technischer Objekte bis zu sozialen Handlungsrouninen, Formen des Selbstmanagements und kollektiver Selbstorganisation. Angesiedelt in der Nähe des Reflexhaften, aber auch des Vorprogrammierten und Antrainierten bilden Automatismen das Gegenstück zur bewussten Reflexion intentional handelnder Subjekte. Aber es zeigt sich, dass Automatismen, selbst wenn sie auf Trainingspraktiken der Einübung zurückführbar sind, darüber hinausgehen.

Grundhypothese der ersten Förderphase des Kollegs (2008 bis 2012) ist, dass Automatismen Mechanismen der Strukturentstehung sind, die sich jenseits bewusster Planung vollziehen. Automatismen bewegen sich auf der Grenzfläche zwischen der Wiederholung des immer Gleichen, wie beim Automaten, und der ungeplanten Strukturbildung, die den Zufall einbezieht und Neues, Unerwartetes entstehen lässt. Der Begriff des Automatismus fasst ungeplante Prozesse, er bezieht aber ebenso ein, wie vorgefertigte Ordnungen und Strukturen reproduziert werden. Im Zentrum der Forschungen des Kollegs stehen also immer die unvorhergesehenen Entwicklungen. Automatismen werden also als Muster



**Prof. Dr. Hannelore Bublitz** ist Hochschullehrerin für Soziologie und Sozialphilosophie an der Universität Paderborn. Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich poststrukturalistischer Gesellschaftstheorie, Automatismen-, Diskurs- und Habitusforschung, insbesondere Selbststeuerung- und Normalisierungsdynamiken sozialer Technologien und Technologien des Selbst.



**Prof. Dr. Hartmut Winkler** ist Hochschullehrer für Medienwissenschaft, Medientheorie und Medienkultur an der Universität Paderborn. Forschungsschwerpunkte sind Medien, Kulturtheorie, Techniktheorie, Alltagskultur und Semiotik.

verstanden, die sich weitgehend der bewussten Planung entziehen und überraschende Resultate haben.

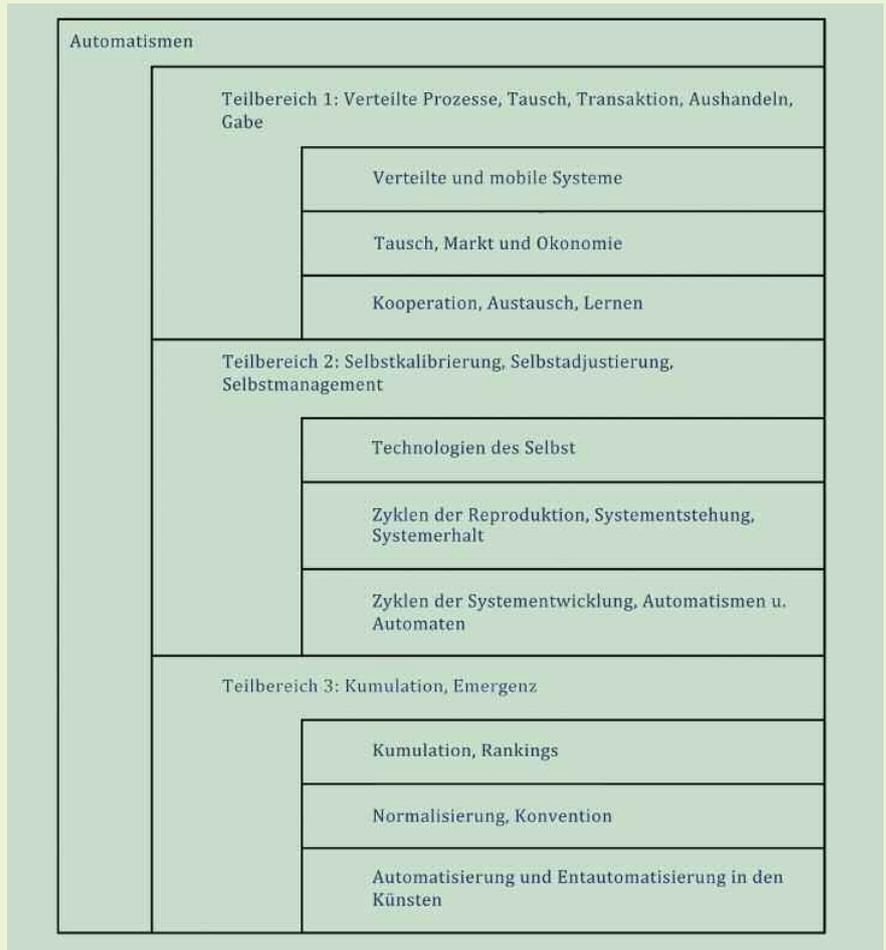
## Interdisziplinärer Forschungszusammenhang: Kulturwissenschaft und Informatik

Das Kolleg wird getragen von einer interdisziplinären Forscher- und Forscherinnengruppe aus den Bereichen von Medien- und Kulturwissenschaften, Soziologie, Literatur- und Kunstwissenschaft sowie der Informatik. Um die Frage nach den Automatismen zu operationalisieren und zu konkretisieren, wurde im Antrag ein Hypothesenrahmen ausformuliert, der, gegliedert in neun Teilbereiche, die Aufgabe hatte, den Promotionsprojekten des Kollegs eine thematische Orientierung und möglichst konkrete Anschlusspunkte zu liefern. Die Teilbereiche des Antrags waren:

1. Verteilte Systeme, verteilte Prozesse: Der erste Teilbereich erwächst aus der Grundhypothese, dass Automatismen vor allem dort zum Tragen kommen, wo verschiedene Akteure ohne zentrale Lenkung voneinander unabhängig

handeln. Innerhalb der Medien scheinen es vor allem die Nutzungsprozesse zu sein, die strukturgenerierend wirken und die ein bottom-up-Ansatz entsprechend berücksichtigen muss. Im Feld der Technik sind es die verteilten Systeme, die hier besonders relevant sind.

2. Die Frage nach dem Selbst: Mit den Automatismen zwangsläufig verbunden – der griechische Wortstamm „auto-“ spricht es aus – ist die Frage nach dem Selbst und nach den Bedingungen, die es hervorbringen. Die Übertragung des Konzeptes der Automatismen auf menschliches Verhalten stellt die Bedeutung menschlicher Autonomie in Frage und fordert das Nachdenken über deren Grenzen ein, was im zweiten Teilbereich geschehen soll. Gleiches geschieht im Zuge von Künstlicher Intelligenz und Robotik, wie man an der Techniktheorie etwa Latours ablesen kann, dessen Akteur-Netzwerk-These zwischen menschlichen und technisch-apparativen Aktanten nicht mehr trennt.
3. Akkumulation/Emergenz: Für den dritten Teilbereich war die Annahme grundlegend, derzufolge innerhalb von Automatismen quantitative Prozesse eine wichtige Rolle spielen. Neue Strukturen scheinen u. a. durch Prozesse der Kumulation zu entstehen. Die Lastmodelle der Informatik bieten hierfür eine Grundlage; die Kulturwissenschaft kann dies z. B. ergänzen durch Modelle der Gedächtnistheorie und der Konventionalisierung, die die konstitutive Rolle z. B. der Wiederholung betonen.



Teilbereiche des Forschungskonzepts.

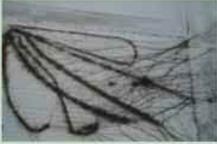
**Promotionsprojekte**

Die im Kolleg angesiedelten Promotionsprojekte, die mit unterschiedlichen disziplinären und methodologischen Zugängen an das Thema herangehen, spiegeln die thematische Bandbreite des Kollegs wider. Der Anspruch der Arbeit im Kolleg ist, das Konzept der Automatismen so zu entfalten, dass es über Disziplinengrenzen hinweg zu neuen Formen und zu einer neuen Qualität in der Analyse von Prozessen der Selbststeuerung und Vernetzung führt. Der Hypothesenrahmen des Kollegs hat die Arbeit im Kolleg angeleitet und strukturiert. Gleichzeitig wurde die Konzeption immer wieder weiterentwickelt. Hier haben insbesondere die Kollegiatinnen und Kollegiaten sowie Postdoktorandinnen und -doktoranden eine aktive Rolle übernommen. Aus dem Kontext der Promotionsprojekte heraus hat sich immer wieder die Möglichkeit und Notwendigkeit ergeben, die Fragestellung und den Begriffsapparat des Kollegs gezielt zu erweitern und auszubauen.

Beispielhaft seien einige der Promotionsprojekte vorgestellt: So untersucht einer der Kollegiaten an der Schnittstelle von Informatik, Kultur- und Medienwissenschaft „Technik-symbiosen mobiler Medien“. Er richtet den Blick auf die

Aneignungsprozesse, die mobile Medien quasi zu einem Bestandteil des Körpers machen und kommt so den körperlichen Automatismen der Habitualisierung auf die Spur. Zugleich wird sichtbar, dass diese Prozesse verteilter Natur sind und bei vielen Nutzern strukturähnlich verlaufen. Ein zweites Promotionsprojekt untersucht „Cloudcomputing als soziale Interaktion“; hier werden Modelle wie die Spieltheorie herangezogen, um das verteilte System der Cloud als Sphäre des Tauschs und der Aushandlung zu begreifen. In einem dritten Promotionsprojekt, das dem Thema „Mobile Media und Dataveillance“ gewidmet ist, geht es darum, dass mobile Medien, grundsätzlich verteilt, sich der Kontrolle entziehen und so politische Aktivitäten erleichtern. Zugleich werden die Nutzer zum Gegenstand verstärkter Sicherheitsmaßnahmen und staatlicher Überwachung. Eine vom Kolleg finanzierte Recherchereise hat den Promovenden rund um den Globus geführt, um in Interviews mit Medienaktivisten verschiedener Schwellen- und Entwicklungsländer Material für seine Arbeit zu sammeln.

Weitere Themen sind: „Rankings im Internet als eine Technik, die verteilte Nutzeraktivitäten auf der Oberfläche des Netzes selbst wieder repräsentiert“; „Die Zirkulation der Videobilder. Automatismen der Wiederholung bei „Youtube & Co““, oder „Automatismen bei der medialen Repräsentation von Krisen- und Katastrophenereignissen“. Und es gibt Promotionsprojekte, die sich stärker auf den Bereich der Kunst beziehen, so ein Projekt, das „Performative algorithm-



## Graduiertenkolleg Automatismen

### Ringvorlesungen:

- Automatismen (SS 2008)
- Tausch u. Zirkulation (WS 2008)
- Emergenz (SS 2008)
- Schemabildung (WS 2009/2010)
- Praktiken (SS 2010)
- Entautomatisierung (WS 2010/2011)
- Verteilte Systeme, Soziale Netze (SS 2011)
- Automatismen revisited (WS 2011/2012)

### Tagungen:

- Unsichtbare Hände (4.-5.2.2010)
- Akteur-Netzwerk-Theorie (27.-29.5.2010)
- Doing Contemporary Literature (20.-21.7.2010)
- Automatismen – Selbsttechnologien (8.-9.4.2011)
- Media Transatlantic IV – Traffic (29.-31.3.2012)

Ringvorlesungen und Tagungen des Graduiertenkollegs „Automatismen“.

mische Kunst“ im Live-DJing untersucht, und ein zweites, das sich „Territorien und Grenzen“ als Beispiel für die Herausbildung ungeplanter Strukturen widmet. Die Projekte der beiden Postdoktoranden befassen sich mit den Bewegungsmedien und den epistemischen Praktiken in den Digital Humanities.

Wie bei Graduiertenkollegs üblich werden die einzelnen Dissertationsvorhaben in einem Kolloquium regelmäßig vorgestellt und in der Runde mit den interdisziplinär zusammengesetzten Betreuerinnen und Betreuern sowie den anderen Kollegiatinnen und Kollegiaten diskutiert. Daneben gibt es Intensivseminare, Workshops, Kolloquien, Ringvorlesungen und Tagungen.

Aus diesen Ringvorlesungen und Tagungen ist eine Anzahl von Publikationen hervorgegangen, die in einer eigenen Schriftenreihe „Automatismen“ des Kollegs im Fink-Verlag erscheinen. Fünf Sammelbände sind bereits publiziert: „Automatismen“ (2010), „Ungeplante Strukturen. Tausch und Zirkulation“ (2010), „Unsichtbare Hände“ (2011), „Strukturentstehung durch Verflechtung. Akteur-Netzwerk-Theo-

rie(n) und Automatismen“ (2011) und „Schemata und Praktiken“ (2012). Ein weiterer ist in Arbeit: „Automatismen – Selbst-Technologien“ (2012). Bis zum Ende des ersten Förderzeitraums (2012) werden damit neben den ersten Dissertationen sechs Sammelbände die Arbeit des Kollegs dokumentieren.

### ■ **Eingespielte Abläufe, kollektive Muster**

Die Forschungsarbeiten und Publikationen des Kollegs zeigen auf vielfältige Weise, dass Automatismen in kulturellen wie in technischen Entwicklungen eine wichtige Rolle spielen, und es ist gelungen, den Begriff – auf eine neue Weise gefasst – in die deutsche Theoriediskussion einzubringen. Dies gilt für neue Modelle zur Medienentwicklung, Theorien der Mediennutzung und Medienkultur, Diskurse zum Verhältnis von Mensch und Maschine in den Technowissenschaften wie auch für sozial- und kulturwissenschaftliche Diskurse, die sich auf – computerbasierte – Formen der individuellen Profilbildung und der kollektiven Selbstführung beziehen. Das Konzept der Automatismen eröffnet ein breites Spektrum an Perspektiven, das herkömmliche Sichtweisen verändert.

### ■ **Instinktiv Reflexhaftes, automatisierte Wiederholung**

Die bisherigen Ergebnisse des Kollegs lassen sich inhaltlich in folgende Punkte zusammenfassen: Automatismen rücken als weitgehend unbewusste Formen der Selbsttätigkeit in die Nähe der Funktionsweise technischer Objekte. Als Gegenstück zur bewussten Reflexion (intentional handelnder Subjekte) bewegen sich Automatismen aber auch in unmittelbarer Nähe zum Instinktiven und Reflexhaften sowie zum bloß reflexartig Antrainierten. Es zeigt sich, dass Automatismen einerseits dem Automaten, Maschinenhaft-Technischen, aber auch der tierischen Natur nah sind. Der Automat bildet die Folie eingespielter und kollektiv koordinierter Bewegungsabläufe. Er ist das Modell antizipierter Vorgänge. Die Nähe des Automatismus zur automatisierten Ausführung programmierter Formen der Wiederholung sorgt jedoch für Irritationen in der wissenschaftlichen Beobachtung und Analyse. Denn dadurch rückt der Automatismus in die Nähe des technischen, bloß schematischen Nachvollzugs vorgegebener Muster und technischer Reproduktion.

Ein weiteres Ergebnis der Forschungsarbeit des Kollegs besteht in der Einsicht, dass sich Automatismen auf der Grenzfläche zwischen der Reproduktion vorgefertigter Muster und der ungeplanten Strukturbildung, die den Zufall einbezieht, bewegen. Die Genese von Automatismen entzieht sich ja weitgehend der Beobachtung. Beobachtbar ist lediglich der Vollzug von Automatismen. So ermöglicht die Beobachtung des Outputs – der Performanz von Automatismen – keine Rückschlüsse auf die Entstehung des Automatismus. Die Form der Selbstregulierung vollzieht sich nicht im Licht der Selbstreflexion oder der Sichtbarkeit. In der Phase des Vollzugs von Automatismen wird die Grenzfläche zwischen automatisierten Abläufen und Automatismen als Formen der Selbstregulierung besonders deutlich.



Sammelbände der Schriftenreihe „Automatismen“, hervorgegangen aus den Ringvorlesungen und Tagungen des Graduiertenkollegs „Automatismen“.

Desweiteren lassen die bisherigen Arbeiten den quasi-technischen Charakter der Automatismen erkennen; die Bezüge zu Automaten- und zur Informationstechnik liegen auf der Hand. Dies gilt auch für kulturwissenschaftliche Befunde über Dispositionen und unbewusst operierende Kulturtechniken, den unbewussten Zusammenschluss körperlichen und psychischen Geschehens. Automatismen können auf eingetübte Abläufe oder bloße Reflexe nicht zurückgeführt werden, sondern sie gehen darüber hinaus. Und es ist dieses „Mehr“, das sie zu strukturbildenden Vorgängen macht. Dieses „Mehr“ sind spezifische Übertragungsqualitäten, Formen des Austauschs und der Zirkulation. Automatismen biokybernetischer, unkontrollierbarer Prozesse der Selbststeuerung erschöpfen sich ebenso wie der Zusammenschluss körperlicher und mentaler Vorgänge nicht in der bloß reflexhaften oder technischen Reproduktion von Abläufen. Wiederholung erscheint als generativer Prozess der Hervorbringung von Neuem, Varianz als innovativer Prozess der Weiterentwicklung. Die Bestandteile der Abläufe verbinden sich unvorhersehbar und immer wieder anders. Es entstehen jeweils neue (Handlungs-)Strukturen. Anstatt einer Wiederholung des Gleichen haben wir es mit einer Wiederholung mit Differenz zu tun. Anders als technische Abläufe sind Automatismen auf vielschichtige Weise mit Modifikationen des individuellen und kollektiven Verhaltens, medial gesteuerten Kulturtechniken, sozialen (Kontroll-) Systemen und Technologien des Selbst verschränkt. Was konventionell als Technik verstanden wird, bildet hierfür nur einen Ausgangspunkt. Die Unterscheidung und Grenze von Technischem und Außertechnischem (Organischem) wird durch das Funktionieren von Automatismen außer Kraft gesetzt. Es besteht vielmehr eine produktive Spannung zwischen dem Modell des Automaten als selbsttätiger Maschine und dem Automatismus als einer besonderen Dynamik, mit der komplexe Handlungsvollzüge auf Schemata verkürzt und in schnell abrufbaren Techniken verdichtet und abgerufen werden.

### **Kulturtechniken der Reduktion komplexer Abläufe**

Automatismen unterliegen einer spezifischen Ökonomie: Sie ersparen den Aufwand, den eine bewusste Reflexion erfordern würde; ihr Gewinn besteht eindeutig auf der Zeitebene und in der Reduktion komplexer Handlungsabläufe.

Und schließlich gibt es einen engen Bezug zur Kontrolle: Erscheinen Automatismen einerseits, bezogen auf das einzelne Subjekt, als Zeichen des Kontrollverlusts, so erscheinen sie andererseits im Bezug auf kollektiv koordinierte Selbstführung geradezu als Zeichen eines Kontrollzuwachses. Kontrolle verändert hier ihre Qualität. Sie wird durch kollektive Dynamiken der Koordination und Formen der kollektiv gesteuerten Selbstkontrolle beschleunigt und gesteigert. Als Projektions- und Spiegelungsprozesse bilden Automatismen konstitutive Prozesse der Subjektbildung. Vor Reflexion gewissermaßen geschützte Automatismen, unkontrollierte Wiederholungen von Verhaltensschemata und Handlungsmustern, bilden zudem ein wesentliches Element kultureller Praktiken, die komplexe Handlungsvollzüge durch Konventionen, durch schematische und habitualisierte Verhaltensnormen und -muster reduzieren. Die Problemstellung des Kollegs, seine Hypothesen und ersten Ergebnisse haben in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen große Aufmerksamkeit und Anerkennung gefunden. Der Fortsetzungsantrag soll hierauf aufbauen und das Thema des Kollegs in eine neue Richtung vertiefen. Für die zweite Phase der Kollegarbeit (ab Herbst 2012) wird die Arbeit des Kollegs neu fokussiert: In der Diskussion ist immer wieder der Aspekt aufgetaucht, dass Automatismen Komplexität reduzieren. Dies verleiht dem Thema zusätzliche Relevanz: Wenn sich die unterschiedlichsten Wissenschaften einig sind, dass Komplexität eines der herausragenden Probleme der Gegenwartsgesellschaften ist, liegt hier eine Chance, gesellschafts- und techniktheoretische Perspektiven mit sehr konkreten Fragen der Kulturwissenschaft, der Medienwissenschaft und der Informatik zu verbinden.

#### **Kontakt:**

**Fakultät für Kulturwissenschaften**

**Wissenschaftliche Koordinatorin: Angela Steinhardt**

**koord@gk-automatismen.upb.de**

**Sprecher: Hartmut Winkler**

**winkler@uni-paderborn.de**

# Die Rolle des Gehirns nach Kreuzbandverletzungen

## Ansatz für innovative Präventions- und Rehabilitationsprogramme

Dr. rer. medic. Jochen Baumeister

Die Kreuzbandverletzung ist im Sport eine der schwerwiegendsten Verletzungen. Nicht selten bedeutet sie das Aus einer Karriere. Auch wenn betroffene Sportler nach einer Kreuzbandrekonstruktion zurückkehren, zeigen die wissenschaftlichen Ergebnisse der letzten 15 Jahre, dass auch nach struktureller Ausheilung einer solchen Verletzung Defizite in der funktionellen Stabilisierung und Kraft sowie schlechtere Ergebnisse in koordinativen Leistungen existieren. Diese Defizite liegen nach den neuesten Erkenntnissen aus Paderborn nicht in der Peripherie begründet – also den passiven und aktiven Strukturen um das Kniegelenk herum – sondern in der Steuerung durch das Gehirn. An diesem Gehirn-Muskel-Zusammenspiel setzen innovative Forschungsideen und praktische Umsetzungen in Prävention und Rehabilitation an, die im Folgenden genauer skizziert werden.

### Die Folgen einer Kreuzbandverletzung

Seit nunmehr zehn Jahren beschäftigt sich das Sportmedizinische Institut in der Arbeitsgruppe „Exercise & Brain“ mit der Verletzung des vorderen Kreuzbandes. Die leitende Idee beruht auf Praxiserfahrungen aus der Rehabilitation, die zeigten, dass nicht nur passive (z. B. Bänder und Sehnen), sondern insbesondere aktive, funktionelle Stabilisatoren nach einer Kreuzbandverletzung für die Rehabilitation eine herausragende Rolle spielen. Diese dynamischen Stabilisa-

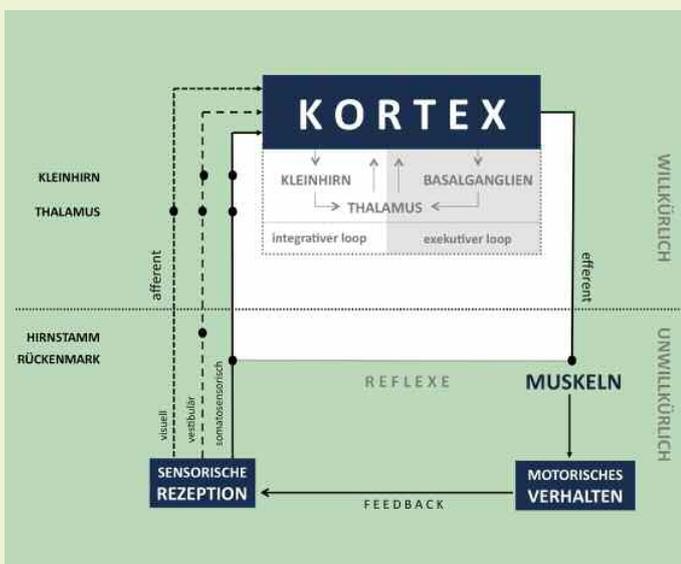


Abb. 1: Modell der sensomotorischen Kontrolle basierend auf den drei Komponenten Sensorik (sensorische Rezeption), Verarbeitung im Gehirn (Kortex) und Motorik (motorisches Verhalten).



**Dr. Jochen Baumeister** ist seit 2007 Leiter der Forschungsgruppe „Exercise & Brain“ im Sportmedizinischen Institut des Departments Sport & Gesundheit. Er untersucht sensomotorische Kontrollmechanismen in verschiedenen, sportrelevanten Bedingungen und die Auswirkungen von Sport und Bewegung auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen.

toren sind Teil der sensomotorischen Kontrolle, die vom Gehirn aus koordiniert wird.

Als integrativer Teil der Bewegungskoordination beschreibt die sensomotorische Kontrolle sowohl sensorisch-rezeptive Anteile, die Sinnesinformationen aus der Peripherie an das Gehirn senden (Afferenzen), als auch motorische Anteile, die die auszuführende Bewegung (Efferenzen) parametrisieren. Steuerinstanz dieser Prozesse ist die „Informationszentrale“ Gehirn, wohingegen die Muskeln das Ausführungsorgan darstellen. Somit ist für eine präzise Bewegungskoordination und eine funktionelle Körper- und Gelenkstabilität das Zusammenspiel von Gehirn und Muskel von großer Bedeutung (Abbildung 1).



Abb. 2: Ableitung der Hirnströme mittels Elektroenzephalographie (EEG). Dabei sind die Elektroden nach einem internationalen Standardsystem angeordnet und leiten die elektrische Aktivität der darunterliegenden Kortextareale ab.

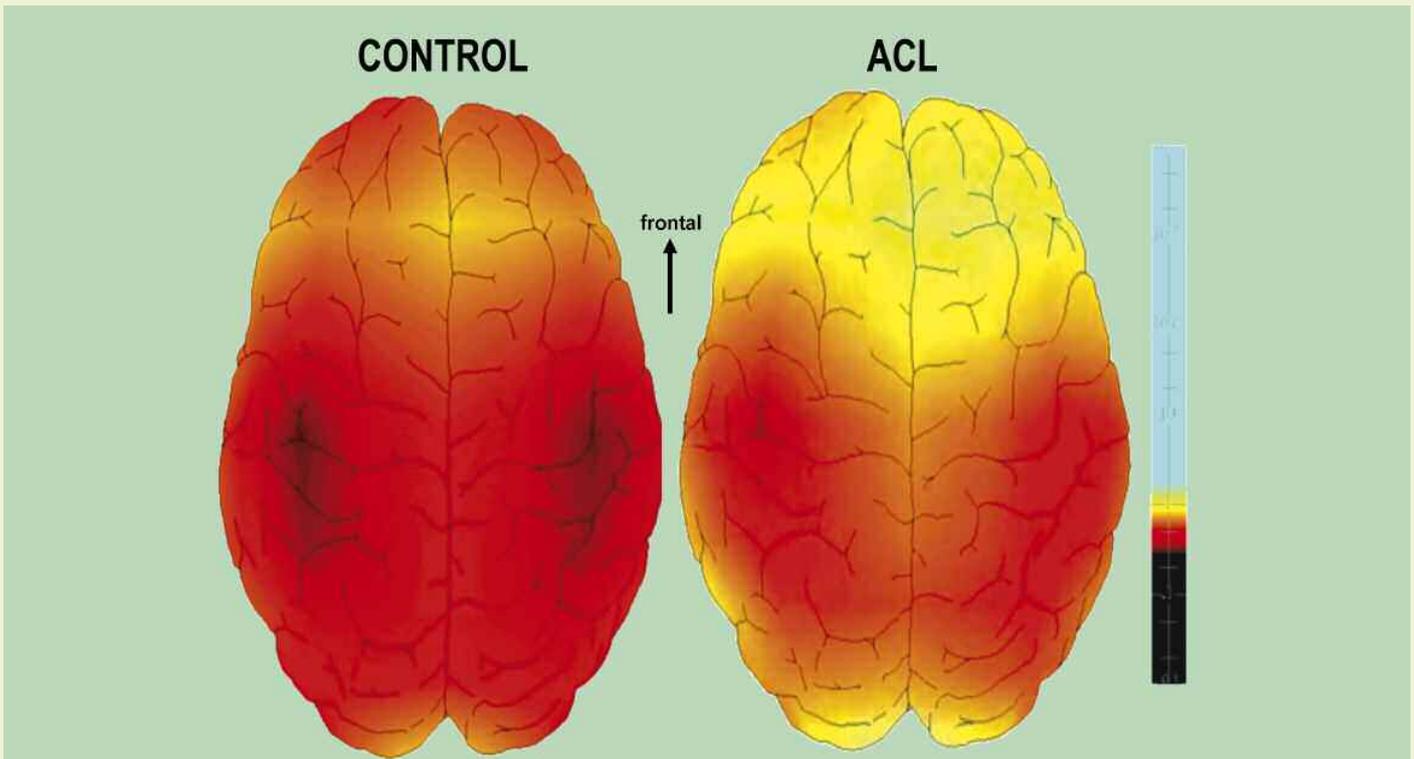


Abb. 3: „Grand Average“ (gemittelte) Darstellung der farblich kodierten Aktivitäten im Theta Frequenzband während der Kraftreproduktionsaufgabe. Hellere (gelb) Farben kodieren höhere Aktivitäten (siehe ACL in frontalen Arealen), wohingegen dunklere Farben für geringere Aktivitäten stehen.

Neben den Muskelspindeln als Rezeptoren des Muskels sind Mechanorezeptoren, wie z. B. Ruffini-Endigungen, Pacini-Körperchen und Golgi-Sehnenorgane, im und um das Gelenk herum für die Sinneswahrnehmungen (Propriozeption) verantwortlich. Es ist davon auszugehen, dass bei Verletzungen und Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes ein Teil dieser Rezeptorstrukturen beschädigt wird. Als Folge verändern sich die entsprechenden sensorischen Informationen aus dem Gelenk, die nun im Gehirn anders verarbeitet werden müssen. Es kommt somit zu einem gestörten bzw. veränderten Gehirn-Muskel-Zusammenspiel. Sichtbar wird dieser Prozess in den Alltagsbewegungen des Patienten, dessen Bewegungskoordination sich als Folge verändert darstellt. In diesem Kontext spekulieren viele Wissenschaftler über die Rolle, die das Gehirn in dieser Interaktion spielt und ob man diese Prozesse sicht- und quantifizierbar machen kann.

### Das Gehirn und die Kreuzbandverletzung

Einem neurowissenschaftlichen Ansatz folgend bieten sich verschiedene methodische Verfahren zur Überprüfung der Fragestellung an. Die anerkannte Expertise des Sportmedizinischen Institutes im Bereich „Sport und Gehirn“ machte es möglich, über den Zugang der Elektroenzephalographie (EEG) der Idee der veränderten Informationsverarbeitung nachzugehen und den Kreuzbandpatienten ins Gehirn zu schauen. Das EEG ist eine Methode zur Erfassung der elektrischen Gehirnströme und u. a. in der Lage, Aktivitäten über Potentialschwankungen abzubilden, die ihre Ursache in physiologischen Vorgängen einzelner Gehirnzellen bzw. Gehirnzellenensembles haben (Abbildung 2). Im hier

gewählten Verfahren wird die elektrische Aktivität mittels Fast Fourier Transformation in definierte Frequenzbereiche (z. B. Theta, Alpha, Beta) transformiert. Die elektrische Leistung in einem dieser Frequenzbereiche kann ortsbezogen auf ausgewählte Aktivitätszustände in bestimmten Gehirnaealen zurückgeführt werden. Im Projektzusammenhang war es das Ziel, so eine mögliche kortikale Veränderung nach Verletzungen des vorderen Kreuzbandes während sensomotorischer Aufgaben aufzudecken.

Da bekannt ist, dass sich unter der Annahme propriozeptiver Defizite bezüglich der Gelenkstellung, Kraftdosierung und Bewegung das motorische Verhalten von Kreuzbandpatienten ändert, bot sich diese Technik an, um während der Durchführung von Bewegungsaufgaben die Veränderungen in Steuerungsprozessen des Gehirns zu detektieren. Zwölf Probanden mit Kreuzbandverletzungen und dementsprechende Kontrollpersonen hatten in zwei Querschnittsstudien die Aufgabe, vorgegebene Winkelstellungen und Kräfte im Kniegelenk nach einer kurzen Periode mit visuellem Feedback zu memorisieren und nach Wegnahme des Feedbacks so präzise wie möglich zu reproduzieren (Baumeister et al. 2008; Baumeister et al. 2011).

Tatsächlich konnte erstmalig demonstriert werden, dass Patienten nach VKB-Ersatz nicht nur eine signifikant schlechtere motorische Leistung erzielen, sondern als neuronales Korrelat der schlechteren Bewegungskontrolle ihre elektrische Gehirnaktivität von der Verletzung/Rekonstruktion beeinflusst wird.

Die EEG Ergebnisse deuten darauf hin, dass Kreuzbandpatienten die Winkelreproduktionsaufgabe mit einer höheren Beanspruchung des frontalen Kortex lösen (erhöhte Theta-Leistung bei den Kreuzbandpatienten; Abbildung 3). Aus der



Abb. 4: Messung der elektrischen Gehirnaktivität in der Vorbereitungsphase zu einer Landung.

Literatur über Untersuchungen mittels fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) kombiniert mit dem EEG wissen wir, dass die Generierung der frontalen Theta-Frequenz im anterioren cingulären Kortex stattfindet (Gevins et al. 1997). Dieser Bereich ist als Teil des menschlichen Aufmerksamkeitssystems bekannt. Damit deuten die Ergebnisse auf eine erhöhte Beanspruchung des Aufmerksamkeitskontrollsystems von Kreuzbandpatienten während der Aufgabenlösung hin.

Ein zweites Gehirnareal zeigt ebenfalls veränderte Aktivitätszustände: der somatosensorische Kortex. Hier laufen die beschriebenen sensorischen Informationen aus dem Kniegelenk ein. Die Aktivität dieses Gebietes kann über die spektrale Leistung des parietalen Kortex (dem Areal hinter der Zentralfurche) im Alpha Frequenzband (8 bis 12 Hz) abgebildet werden. Dort zeigten Kreuzbandpatienten im Vergleich zu ihren Kontrollpersonen eine signifikant höhere neuronale Aktivität während einer Winkelreproduktionsaufgabe. Im Gegensatz dazu war bei einer Kraftreproduktion keine signifikante Veränderung der sensorischen Informationsverarbeitung zu beobachten.

Die Literatur beschreibt die Beanspruchung des Aufmerksamkeitssystems (frontale Theta-Frequenz) und die somatosensorische Informationsverarbeitung (parietale Alpha-2-Frequenz) als Teile des Arbeitsgedächtnisses. Das Arbeitsgedächtnis dient als „Nadelöhr“ oder „Flaschenhals“ der genannten Informationsverarbeitung. Die vielen verschiedenen sensorischen Informationen, die wir mit unseren Sinnen ständig wahrnehmen, werden hier mithilfe unterschiedlicher Kontrollfunktionen des Gehirns (die so genannten exekutiven Funktionen, wie z. B. fokussierte Aufmerksamkeitslenkung oder Entscheidungsverhalten) in für die Bewegung wichtige und unwichtige Informationen getrennt.

Dies deutet in Verbindung mit den aktuellen Ergebnissen darauf hin, dass Kreuzbandpatienten aufgrund des gestörten Gehirn-Muskel-Zusammenspiels sensomotorische Aufgaben mit einer erhöhten Beanspruchung in frontalen und parietalen Gehirnarealen, die als Netzwerk das Arbeitsgedächtnis repräsentieren, zu lösen versuchen.

### **Näher am Sport: funktionelle Aufgaben**

Ziel einer interdisziplinär und anwendungsorientiert aufgestellten Sportmedizin ist es, dem Praxisgedanken innerhalb der Forschungsthematik Rechnung zu tragen. Die beschriebenen Experimente wurden am Modell des propriozeptiven Defizits nach Kreuzbandverletzungen allerdings im Labor durchgeführt und zeichneten sich eher durch eine Grundlagenorientierung aus. Demnach erschien es sinnvoll, im nächsten Schritt typische „funktionelle Therapieübungen“ in den anwendungsbezogenen Fokus zu nehmen.

Um diesen Gedanken umzusetzen, wurde gemeinsam mit Prof. Eva Ageberg und ihrem Team von der Universität in Lund (Schweden) und unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG BA4062/2-1) basierend auf den oben beschriebenen Forschungsergebnissen ein Projekt mit der Fragestellung durchgeführt, ob sich die Störung des Gehirn-Muskel-Zusammenspiels während funktioneller Bewegungsaufgaben in einer veränderten Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses zeigt.

An zehn Patienten und dementsprechenden Kontrollpersonen wurden in einer Querschnittsuntersuchung vor und während verschiedener Aufgaben, wie z. B. Einbeinsprüngen, beidbeinigen Landungen (Abbildung 4) und einbeinigen Kniebeugen klinische, biomechanische und elektrophysiologische Daten erhoben.

Dabei zeigte sich in einer ersten Auswertung der Daten, dass auch in der Vorbereitungsphase vor einem Sprung und während einer Kniebeuge das fronto-parietale Netzwerk, also das Arbeitsgedächtnis, beansprucht wird und sich Unterschiede zwischen Kreuzbandpatienten und Kontrollpersonen andeuten. Bezugnehmend auf den beschriebenen Interpretationsansatz deutet vieles auf eine höhere Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses aufgrund veränderter sensorischer Informationen durch die Verletzung hin. Damit konnte gezeigt werden, dass sich die Forschungsergebnisse auch in einem sport- und bewegungsnahen Kontext abbilden lassen.

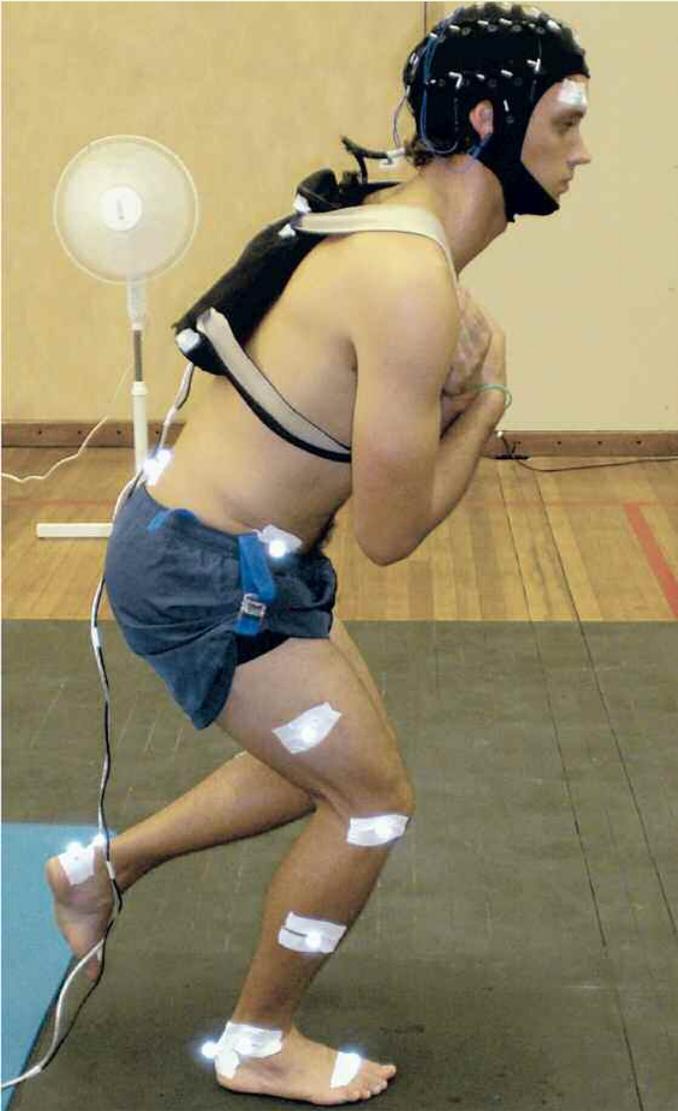


Abb. 5: Aufzeichnung kinetischer, kinematischer und elektrophysiologischer Daten während einer einbeinigen Kniebeuge.

### Welche Rolle spielt die Ermüdung?

Ungünstige Bedingungen erhöhen das Risiko, sich nach einer überstandenen Kreuzbandverletzung wieder zu verletzen. Neben einem unzureichenden Beherrschen der Bewegungsabläufe, spielen Ermüdungszustände eine große Rolle. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass sich sowohl eine lokale Muskelermüdung (Gandevia 2001) als auch eine allgemeine Ermüdung ebenfalls auf das Gehirn-Muskel-Zusammenspiel auswirken. Insbesondere das Gehirn scheint hier in der Steuerung motorischen Verhaltens beeinträchtigt. Dies macht sich u. a. durch eine im EEG nachweisbare Veränderung der frontalen Theta Leistung als Ausdruck veränderter exekutiver Kontrollfunktionen bemerkbar (Baumeister et al. 2011). Sowohl eine Kreuzbandverletzung als auch Ermüdungszustände haben Einfluss auf die motorische Steuerung und führen zu Bewegungen, die nicht mehr kontrolliert stattfinden und damit ein Risikopotenzial für eine Wiederverletzung darstellen.

Um dieser Frage nachzugehen beschäftigt sich ein aktuelles

Projekt in Zusammenarbeit mit der University of Stellenbosch in Südafrika (Prof. Quinette Louw) mit finanzieller Unterstützung der DFG (BA4062/1-1, 1-2) damit, welchen Einfluss eine akute Ermüdungsintervention auf die zentrale Steuerung von Kreuzbandpatienten sowie auf die Bewegung selbst hat.

14 Kreuzbandpatienten wurden nach der Therapie und Rückkehr in ihren Sport (in diesem Fall Fußball, Rugby und Basketball) mit entsprechenden Kontrollpersonen vor einer Landung nach einem Sprung sowie in Anlehnung an das vorher beschriebene Projekt während einer einbeinigen Kniebeuge (Abbildung 5) verglichen. Darauf folgend absolvierten die Studienteilnehmer ein evaluiertes Sprungfolgenprotokoll, bis sie anhand ihres Leistungsrückganges als ermüdet klassifiziert werden konnten (von Detten et al. 2011). Danach wurden wiederum die schon vor dem Ermüdungsprotokoll durchgeführten Aufgaben wiederholt. Dabei war das Team aus Paderborn verantwortlich für die EEG-Messungen (mobiles NuAmps 32 channel EEG, NeuroScan) und die südafrikanischen Partner für die kinetische (Kistler® Force Platform) und kinematische (3D Vicon® Motion Analysis) Beschreibung der Bewegung. Aufgrund des immens hohen Datenaufkommens befindet sich das Projekt noch in der Analysephase.

### Sensomotorische Modellbildung in der Rehabilitation

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen den Stellenwert der sensomotorischen Kontrolle und der darin kommunizierten und verarbeiteten sensorischen Information hinsichtlich eines optimierten Gehirn-Muskel-Zusammenspiels. Innerhalb des komplexen Netzwerkes Gehirn deuten die beschriebenen Ergebnisse darauf hin, dass die korrekte Auswahl der für die Bewegungskoordination wichtigen sensorischen Informationen eine Schlüsselrolle in der zentralen Verarbeitung darstellt. Diesem Informationsverarbeitungsprozess liegt u. a. das Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses zugrunde, das durch eine Kreuzbandverletzung anders beansprucht wird. Durch die verletzten Strukturen im Kniegelenk werden veränderte sensorische Informationen an das Gehirn gesendet, die dort mit einem höheren Aufwand verarbeitet werden müssen, um eine adäquate motorische Handlung zu initiieren.

Dabei hat sich die Elektroenzephalographie als adäquate Methode gezeigt, Veränderungen auf kortikaler Ebene nachzuweisen. Zukünftige Forschungsaktivitäten des sportmedizinischen Institutes werden nicht nur veränderte Aktivitäten, sondern auch verstärkt die elektrophysiologische Kommunikation zwischen beteiligten Gehirnarealen (kortiko-kortikale Kohärenzen) und des Gehirn-Muskel-Zusammenspiels (kortiko-muskuläre Kohärenzen) in den Fokus nehmen.

Bleibt die Frage, wie sich diese Ergebnisse in der Praxis der Rehabilitation auswirken.

### Paradigmenwechsel in der Therapie

Mit den vorgelegten Ergebnissen über die Beeinflussung der

zentralen Steuerung durch das Gehirn ist erstmalig der Nachweis gelungen, dass das Gehirn im Zusammenspiel mit den Muskeln in der Rehabilitation orthopädisch-traumatologischer Verletzungsbilder, wie z. B. einer Kreuzbandverletzung eine herausragende Rolle spielt. Viele Nachbehandlungsschemata tragen diesem Gedanken bereits Rechnung und setzen im Therapieverlauf verstärkt funktionelle Übungen und ein sensomotorisches Training ein (Myer et al. 2008).

Der Begriff „sensomotorisches Training“ bezeichnet eine geplante und systematische Beanspruchung des sensomotorischen Systems, um gezielt Anpassungen im Gehirn-Muskel-Zusammenspiel zu erreichen. Bezogen auf die Therapie nach Kreuzbandverletzungen werden mithilfe instabiler Unterstützungsflächen und anderer sensorischer Perturbationen Anpassungen auf Gehirnebene provoziert, die die Verletzungsdefizite kompensieren sollen.

Hier findet in ambulanten und stationären Therapiezentren seit Jahren ein Umdenken statt, so dass nicht mehr der atrophierte Muskel, sondern die Gehirn-Muskel-Interaktion im Mittelpunkt steht. Wenn diese Erkenntnisse in die Therapie einbezogen werden, können nachhaltigere Erfolge erzielt werden (Risberg et al. 2007). Die nachgewiesenen Phänomene tragen zu einem neuen Verständnis der Sensomotorik in der Rehabilitation bei und zeigen neue Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der Systematik dieser Trainingsform unter Einbeziehung des Gehirns und führen letztendlich zu einer begründeten, effektiven Therapie.

### Literatur

- [1] BAUMEISTER, J., REINECKE, K., SCHUBERT, M., & WEISS, M. (2011). ALTERED ELECTROCORTICAL BRAIN ACTIVITY AFTER ACL RECONSTRUCTION DURING FORCE CONTROL. JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH : OFFICIAL PUBLICATION OF THE ORTHOPAEDIC, 29(9), 1383-1389. DOI:10.1002/JOR.21380.
- [2] BAUMEISTER, J., REINECKE, K., & WEISS, M. (2008). CHANGED CORTICAL ACTIVITY AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION IN A JOINT POSITION PARADIGM: AN EEG STUDY. SCANDINAVIAN JOURNAL OF MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS, 18(4), 473-484. DOI:10.1111/J.1600-0838.2007.00702.x.
- [3] BAUMEISTER, J., REINECKE, K., SCHUBERT, M., SCHADE, J. & WEISS, M. (2011). EFFECTS OF INDUCED FATIGUE ON BRAIN ACTIVITY DURING SENSORIMOTOR CONTROL. EUR J APPL PHYSIOL [EPUB AHEAD OF PRINT] DOI:10.1007/s00421-011-2215-6.
- [4] DETTEN, S. VON, BOGUSLAVSKI, D., HANSCHKE, U., WEISS, M., & BAUMEISTER, J. (2011). EVALUATION OF A FUNCTIONAL FATIGUE PROTOCOL. BASES CONFERENCE PROCEEDINGS 2011.
- [5] GANDEVIA, S. C. (2001). SPINAL AND SUPRASPINAL FACTORS IN HUMAN MUSCLE FATIGUE. PHYSIOLOGICAL REVIEWS, 81(4), 1725-1789.
- [6] GEVINS, A., SMITH, M. E., McEVROY, L., & YU, D. (1997). HIGH-RESOLUTION EEG MAPPING OF CORTICAL ACTIVATION RELATED TO WORKING MEMORY: EFFECTS OF TASK DIFFICULTY, TYPE OF PROCESSING, AND PRACTICE. CEREBRAL CORTEX (NEW YORK, N, 7(4), 374-385.
- [7] MYER, G., PATERNO, M., FORD, K., & HEWETT, T. (2008). NEUROMUSCULAR TRAINING TECHNIQUES TO TARGET DEFICITS BEFORE RETURN TO SPORT AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH/NATIONAL STRENGTH &, 22(3), 987-1014. DOI:10.1519/JSC.0B013E318 16A86CD.
- [8] RISBERG, M., HOLM, I., MYKLEBUST, G., & ENGBRETSSEN, L. (2007). NEUROMUSCULAR TRAINING VERSUS STRENGTH TRAINING DURING FIRST 6 MONTHS AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION: A RANDOMIZED CLINICAL TRIAL. PHYSICAL THERAPY, 87(6), 737-750. DOI:10.2522/PTJ.20060041.

#### Kontakt:

Dr. Jochen Baumeister

Fakultät für Naturwissenschaften

Sportmedizinisches Institut

05251 60-3588

jochen@sportmed.upb.de

# 15 Jahre FORSCHUNGS FORUM PADERBORN

[www.uni-paderborn.de/ffp](http://www.uni-paderborn.de/ffp)

## Themenübersicht

AUSGABE 1 BIS 15

Liebe Leserinnen und Leser,

zum 15. Mal berichten wir über zukunftsweisende Forschung made in Paderborn. Mit der vorliegenden Ausgabe feiern wir also ein kleines Jubiläum. Als das Magazin das erste Mal zum 25-jährigen Bestehen unserer Universität erschien, war es zunächst als Bonbon zur Jahresfeier gedacht. Doch die positive Leserresonanz sorgte schnell dafür, dass sich das ForschungsForum zum festen Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit unserer Hochschule mauserte. Mit einer Auflage von 5 000 Exemplaren erscheint es seitdem jeweils im Wintersemester und macht neue Erfolg versprechende Ansätze und Ergebnisse unserer wissenschaftlichen Arbeit bekannt.

Bisher haben wir 173 spannende Beiträge veröffentlicht. Von Agrarmärkten bis Zeichensprache am Computer: Die Themen sind stets vielseitig, allgemein verständlich geschrieben und haben einen hohen Praxisbezug. Denn unsere Forschungsergebnisse sollen nicht nur Wissenschaftler innerhalb einer speziellen Community verstehen.

Wir wollen den ständigen Informationsaustausch unterschiedlicher Fächer fördern und Angehörige der Universität, Interessenten aus Wirtschaft und Politik sowie die Öffentlichkeit über unser großes Forschungspotenzial informieren. Nur so kann ein Dialog funktionieren und glaubhaft unter-

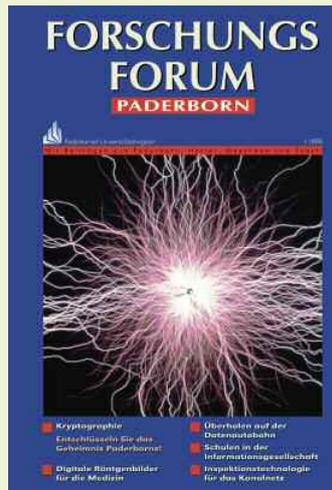
mauern, dass die Paderborner Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich an den Problemen unserer Zeit orientieren und wegweisende, international anerkannte Lösungen anbieten. Ein Blick auf die bisher veröffentlichten Aufsätze macht auch deutlich, dass unsere Aktivitäten weit über die Informatik und Technik hinausgehen und die natur- und geisteswissenschaftlichen Bereiche einschließen.

Vor dem Hintergrund des Wettbewerbs der Hochschulen leistet das ForschungsForum Paderborn damit einen unschätzbaren Beitrag: Denn die aktuellen, erstklassigen Aufsätze schärfen das Paderborner Profil und machen es unverwechselbar – und deshalb wird uns das Magazin auch weit über das 40-jährige Universitätsjubiläum begleiten.

Ein Dank geht an alle Autorinnen und Autoren, an alle alten und neuen Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats an alle Förderer und Freunde sowie an alle Leserinnen und Leser unseres Wissenschaftsmagazins – ohne die wir heute nicht gemeinsam „40 Jahre Universität Paderborn“ – „15 Jahre ForschungsForum Paderborn“ feiern könnten.

Auf die nächsten 15 Jahre Veröffentlichung herausragender Forschungsleistungen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unserer Universität und über weiterhin begeisterte Leserinnen und Leser freut sich

*Ihre Ramona Wiesner*



FFP 1/1998

### Kryptographie und endliche Körper

Algebra für Spione, Datenschützer und das Internet  
 Prof. Dr. phil. Joachim von zur Gathen,  
 Fachbereich 17/Mathematik – Informatik

### Digitale Röntgenbilder für die medizinische Diagnostik

Der Beitrag der Festkörperphysiker  
 Prof. Dr. rer. nat. Johann-Martin Spaeth,  
 Dr. rer. nat. Stefan Schweizer, Fachbereich 6/Physik

### Schneller Entwurf dreidimensionaler Computer-Animationen

Die Entwicklung einer „High-Level“-Animationsbibliothek  
 Prof. Dr. rer. nat. Franz Rammig, Dipl.-Inform. Christian Geiger,  
 Dipl.-Inform. Ralf Hunstock, Dipl.-Inform. Volker Paelke, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik

### Die „Fürstliche Bibliothek Corvey“

Eine „Schatzkammer“ wird erforscht  
 Prof. Dr. phil. Hartmut Steinecke,  
 Fachbereich 3/Sprach- und Literaturwissenschaft

### Nationale Bildungssysteme und die Reproduktion wirtschaftlicher Eliten

Soziale Herkunft und Ausbildung der Spitzenmanager in Deutschland, Frankreich und Großbritannien  
 PD Dr. phil. Michael Hartmann, Fachbereich 1/Philosophie, Geschichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften

### Schulen in der Informationsgesellschaft

Medienkonsum als pädagogisches Problem – Medienerziehung als unterrichtliche Aufgabe  
 Prof. Dr. phil. Gerhard Tulodziecki, Fachbereich 2/Erziehungswissenschaft, Psychologie, Sportwissenschaft

### Agrarmärkte, Umwelt, ländlicher Raum

Nordrhein-Westfalen hat Schwein  
 Prof. Dr. agr. Hans-Ulrich Hensche, Dipl.-Ing. agr. Martin Spielhoff,  
 Dipl.-Ing. agr. Harald Vogt, Fachbereich 9/Agrarwirtschaft

### Zur Entwicklung der Ufergehölze an der naturnah ausgebauten Ems bei Rietberg

Die Bedeutung für den Gewässerschutz  
 Prof. Dr. rer. nat. Horst Wedeck,  
 Fachbereich 7/Landschaftsarchitektur und Umweltplanung

### Können Kristalle flüssig sein?

Flüssigkristalle als vierter Zustand der Materie  
 Prof. Dr. rer. nat. Horst Stegemeyer,  
 Fachbereich 13/Chemie und Chemietechnik

### Hochdruck in Natur und Technik

Forschung in der Hochdruckphysik  
 Prof. Dr. rer. nat. Wilfried B. Holzapfel, Fachbereich 6/Physik

### Umweltrisiko Abwasserkanal – Wie löchrig ist das deutsche Kanalnetz?

Methodische Produktinnovation für Umweltschutz und Wettbewerb  
 Prof. Dr.-Ing. Walter Jorden, Dipl.-Ing. Joachim Niewels,  
 Fachbereich 10/Maschinentechnik

### Überholen auf der Datenbahn

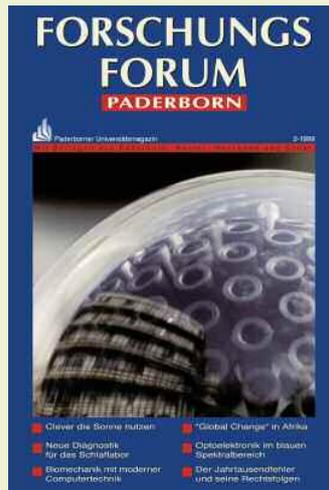
Ausbau der Telekommunikationsnetze mit modernen Techniken der Nachrichtenübertragung  
 Dipl.-Phys. Ulrich Rust, Prof. Dr.-Ing. Reinhold Noè, Fachbereich 6/Physik und Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik

### Der elektronische Hörsaal

Aufbau lernförderlicher multimedialer Infrastrukturen  
 Prof. Dr.-Ing. Reinhard Keil-Slawik,  
 Fachbereich 17/Mathematik – Informatik

### Papierarme Informationsverarbeitung im Office mit Groupware

Workflow Management im Intranet, Extranet und Internet  
 Prof. Dr. rer. oec. Ludwig Nastansky,  
 Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften



FFP 2/1999

### „Neue Entwicklungen für die Diagnostik im Schlaflabor“

Diagnosehilfen für den Arzt – Erleichterungen für die Patienten  
*Prof. Dr.-Ing. Dieter Barschdorff,*  
*Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik*

### „Global Change“ in Afrika

Sedimentanalysen und Kohlenstoffisotope entschlüsseln die Umweltgeschichte tropischer Ökosysteme  
*Dr. rer. nat. Jürgen Runge, Fachbereich 1/Philosophie, Geschichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften*

### Clever die Sonne nutzen

Einstrahlungsmessungen mit dem Solar-Igel  
*Dr.-Ing. Egon Ortjohann, Dipl.-Ing. Michael Gruffke, Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik*

### Dreidimensionale Welten auf flachen Bildschirmen

Ein Preis-Leistungs-Vergleich von Darstellungstechniken  
*Prof. Dr. techn. Gitta Domik, Dipl.-Inform. Sabine Volbracht, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### Biomechanik – Der Mechanik der Natur auf der Spur

Simulation von Bewegungen und Beanspruchungen des menschlichen Bewegungsapparats mithilfe modernster Computertechnik  
*Prof. Dr.-Ing. Hans Albert Richard, Dr.-Ing. Gunter Kullmer, Fachbereich 10/Maschinentechnik*

### The Millenium-Bug

Software-Haftungsrisiken zu Beginn des neuen Jahrtausends  
*Prof. Dr. Jur. Michael Barton, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

### Sozio-ökonomische Analyse der Fußball-Weltmeisterschaft 2006 in Deutschland

Was bringt eine Fußball-WM für den Standort Deutschland?  
*Prof. Dr. rer. pol. Bernd Rahmann, Dipl.-Volkswirt Markus Kurscheidt, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

### Sex, Musik und Schach

Editionsprojekt Johann Jakob Wilhelm Heine (1746-1803) am Musikwissenschaftlichen Seminar Detmold  
*Prof. Dr. phil. Werner Keil, Fachbereich 4/Kunst, Musik, Gestaltung*

### „Zeig mir, wie du sprichst und ich sag dir, wer du bist“

Zum Verhältnis von Sprachgebrauch und Identität in mehrsprachigen Gemeinschaften  
*Dr. Johannes Kabatek, Fachbereich 3/Sprach- und Literaturwissenschaften*

### Paderborn droht im Müll zu versinken

Wie kann die Stadt das wachsende Abfallaufkommen bewältigen?  
*Prof. Dr. phil. Franz-Josef Kaiser, Dr. Volker Brettschneider, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

### Optoelektronik im blauen Spektralbereich

Halbleiterlaser für blaues Licht soll Kapazität von Datenspeichern erhöhen  
*Prof. Dr. phil. Klaus Lischka, Fachbereich 6/Physik*

### Bruchmechanik an Materialgrenzflächen

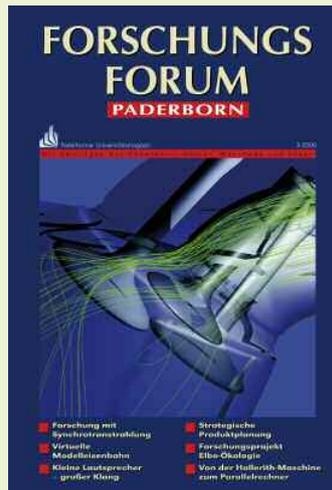
Beispiel eines gelungenen Transfers von Grundlagenforschung in die industrielle Praxis  
*Prof. Dr. rer. nat. Klaus Herrmann, PD Dr. rer. nat. Wolfgang H. Müller, Fachbereich 10/Maschinentechnik*

### Mit Radiotracer-Methoden auf den Spuren von Rüstungsaltslasten

Radioaktive Isotope ermöglichen die Verfolgung des TNT-Abbaus  
*Prof. Dr. rer. nat. Gregor Fels, Fachbereich 13/Chemie und Chemietechnik*

### Primzahlzwillingsrekorde – nicht nur eine Jagd nach Monstern

Sehr schnelles Rechnen mit sehr großen Zahlen  
*Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Karl-Heinz Indlekofer, Prof. Dr. Antal Jari, Fachbereich 17/Mathematik und Informatik*



FFP 3/2000

**Rechtzeitig fertig:****Die neue Paderborner Stadtgeschichte**

1200 Jahre – von Karl dem Großen bis zu Wilhelm Lücke  
*Prof. Dr. phil. Jörg Jarnut, Prof. Dr. Karl Hüser, Prof. Dr. phil. Frank Göttmann, Fachbereich 1/Philosophie, Geschichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften*

**Jugend und Sport in Deutschland und den USA – ein Kulturvergleich**

Amerikanisierung der jugendlichen Sportkultur – Fakt oder Fiktion?  
*Prof. Dr. päd. Wolf-Dietrich Brettschneider, Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck, Fachbereich 2/Erziehungswissenschaft, Psychologie, Sportwissenschaft*

**Die virtuelle Modelleisenbahn**

Computerunterstützung komplexer Entscheidungen im Bahnverkehr  
*Prof. Dr. rer. nat. Leena Suhl, Dr. Taieb Mellouli, Dipl.-Wirt.-Inform. Johannes Goecke, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

**Standort Deutschland**

Eine langfristige Strategieentwicklung ist überfällig  
*Prof. Dr. sc. pol. Thomas Gries, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

**Gesund altern**

Zur Bedeutung von Ernährung und Bewegung im Alter und im hohen Alter  
*Prof. Dr. oec. troph. Helmut Hesecker, Dr. rer. nat. Almut Schmidt, Fachbereich 6/Physik, Hauswirtschaftswissenschaft*

**Projekt zur Elbe-Ökologie**

Hydraulische und sedimentologische Berechnungen zur Morphodynamik  
*Prof. Dr.-Ing. Klaas Rathke, Prof. Dr.-Ing. Günter Meon, Dipl.-Ing. Kerstin Adam, Fachbereich 8/Technischer Umweltschutz*

**Dienstleistung im Verborgenen**

Biologische Gegenspieler in Gräsern und ihre praktischen Anwendungsmöglichkeiten  
*Prof. Dr. agr. Volker H. Paul, Dipl.-Biol. Anke Holzmann, Dipl.-Chem. Johannes Reinholz, Dr. rer. nat. Peter Dapprich, Fachbereich 9/Agrarwirtschaft*

**Forschung mit Synchrotronstrahlung**

Von der Röntgenstrahlung zur Synchrotronstrahlung – ein historischer Abriss und aktuelle Anwendungen  
*Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Wortmann, Dipl.-Phys. Rainer Lübbers, Fachbereich 6/Physik*

**Strategische Produktplanung**

Erster und entscheidender Schritt auf dem Weg zu den Produkten für die Märkte von morgen  
*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dipl.-Wirt.-Ing. Andreas Kühn, Dipl.-Ing. Bernd Riepe, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

**Schnelle Herstellung von Prototypen und Vorserien**

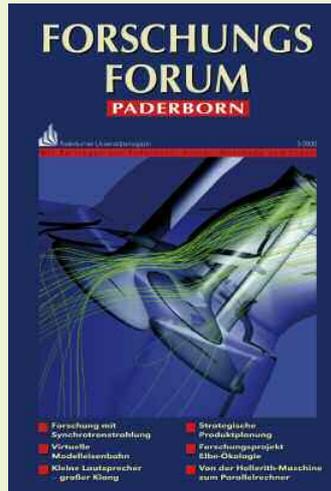
Neue Möglichkeiten mit dem Vollformgießverfahren  
*Prof. Dr.-Ing. Ortwin Hahn, Dipl.-Ing. Michael Wappelhorst, Fachbereich 10/Maschinentechnik*

**Kleine Lautsprecher – großer Klang**

Modellierung und Reduktion des nichtlinearen Verhaltens von Lautsprechern  
*Dipl.-Ing. Joachim Waßmuth, Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik*

**Symbiose von Hardware und Software**

Beispiele eines gelungenen Transfers von Grundlagenforschung in die industrielle Praxis  
*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich, Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik*



FFP 3/2000

### Neue Möglichkeiten in der Audiotechnik

31-Band-Equalizer mit einstellbaren Verzögerungszeiten  
*Prof. Dr. rer. nat. Sigmar Ries, Dipl.-Ing. Günter Frieling, Fachbereich 15/Nachrichtentechnik*

### Dem Menschen abgeschaut – fallbasiertes Lösen von Problemen

Nutzbarmachung eines mächtigen Paradigmas in der Informatik  
*Prof. Dr. rer. nat. Hans Kleine Büning, Dr. Benno Stein, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### Berechnung dreidimensionaler Strömungen auf massiv parallelen Computersystemen

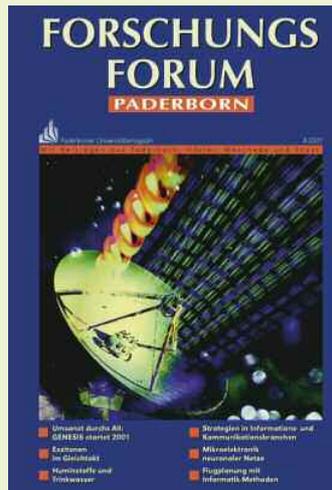
Eine Herausforderung für Mathematik und Informatik  
*Prof. Dr. rer. nat. Reimund Rautmann, Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Borchers, Dipl.-Math. Stephan Blazy, Dipl.-Math. Ralph Bruckschen, Dipl.-Math. Serge Kräutle, Dr. Nicole Roß, Dipl.-Math. Kerstin Wielage, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### Das Stadtspiel

Eine virtuelle Umgebung für den Geometrieunterricht der Primarstufe  
*Prof. Dr. rer. nat. Hans-Dieter Rinkens, Dorothea Backe-Neuwald, Prof. Dr. techn. Gitta Domik, Dipl.-Inform. Sabine Volbracht, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### Von der Hollerith-Maschine zum Parallelrechner

Die alltägliche Aufgabe des Sortierens als Fortschrittsmotor für die Informatik  
*Prof. Dr. math. Friedhelm Meyer auf der Heide, Dr. Rolf Wanka, Fachbereich 17, Heinz-Nixdorf-Institut*



FFP 4 / 2001

### Exzitonen im Gleichtakt

Über eine Anwendung kohärenter Laser-Lichtpulse in der Halbleiterspektroskopie

*Prof. Dr. rer. nat. Wolf von der Osten, Fachbereich 6/Physik*

### Ein Irrtum des Geistes ist dasselbe wie ein Irrtum im Kalkül

Gottfried Wilhelm Leibniz: Die Grundlage des logischen Kalküls

*Stephanie Weber, Prof. Dr. phil. Dr. theol. Franz Schupp, Fachbereich 1/Philosophie, Geschichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften*

### Modelle für automobile Software

Objektorientierte Modellierung von eingebetteten, interaktiven Softwaresystemen im Automobil

*Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels, Dipl.-Inform. Jens Gaulke, Dipl.-Inform. Stefan Sauer, Fachbereich 17/Mathematik - Informatik*

### Huminstoffe und Trinkwasser

Ein kleiner Ausschnitt aus dem globalen Kohlenstoffkreislauf

*Prof. Dr.-Ing. Joachim Fettig, Dipl.-Ing. Claudia Steinert, Fachbereich 8/Technischer Umweltschutz*

### Nächstenliebe als Antisemitismus?

Zu einem Problem der christlich-jüdischen Beziehung

*Prof. Dr. theol. Martin Leutzsch, Fachbereich 1/Philosophie, Geschichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften*

### Flugplanung mit Informatik-Methoden

Optimierungsverfahren erhöhen die Produktivität, steigern die Mitarbeiterzufriedenheit und senken die Kosten bei Fluggesellschaften

*Prof. Dr. rer. nat. Burkhard Monien, Dipl.-Inform. Torsten Fahl, Dipl.-Inform. Silvia Götz, Dipl.-Inform. Sven Grothklags, Dipl.-Inform. Georg Kliewer, Dipl.-Inform. Meinolf Sellmann, Dipl.-Inform. Stefan Tschöke, Fachbereich 17/Mathematik - Informatik*

### Fuzzy-Logik

Computergesteuerte Entscheidungstechnik für die Rechtswissenschaft

*Prof. Dr. jur. Dieter Krimphove, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

### Umsonst durchs All: GENESIS startet 2001

Mathematische Methoden in der Raumfahrt

*Prof. Dr. rer. nat. Michael Dellnitz, Dr. Oliver Junge, Dipl.-Math. Bianca Thiere, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### Umordnungen der Dinge

Kulturwissenschaftliche Untersuchungen sozialer und ästhetischer Ordnungen

*Prof. Dr. phil. Gisela Ecker, Dr. Claudia Breger, Dr. Susanne Scholz, Fachbereich 3/Sprach- und Literaturwissenschaft*

### Auf dem Weg zu einer Theorie der Naturgesetze

Wie Naturgesetze innerhalb eines materialistischen Weltbildes verstanden werden können

*Prof. Dr. phil. Andreas Bartels, Fachbereich 1/Philosophie, Geschichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften*

### Kapazitätssteigerung in heutigen und zukünftigen Mobilfunksystemen

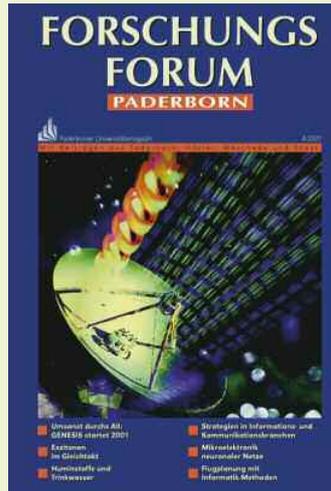
Optimierung mittels Computer-Simulationen

*Prof. Dr. rer. nat. Christian Lüders, Dipl.-Ing. Markus Quente, Fachbereich 15/Nachrichtentechnik*

### Naturstoffe – Quelle neuer Produkte für Pflanzenschutz und Pharma

Isolierung von biologisch aktiven Substanzen aus Pilzen

*Prof. Dr. rer. nat. Karsten Krohn, Natalia Root, Klaus Steingröver, Fachbereich 13/Chemie und Chemietechnik*



FFP 4 / 2001

### **Elektronische Kurvenscheiben**

Eine klassische Antriebsaufgabe mit neuen Technologien gelöst

*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Bechtloff, Fachbereich 11/Maschinenbau - Datentechnik*

### **Mikroelektronik neuronaler Netze**

Chips imitieren Funktionsmechanismen des Gehirns

*Prof. Dr.-Ing. Ulrich Rückert, Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik*

### **Die Kunst der Kunststoff-Herstellung**

Innovative Reaktionsführung zur Herstellung von Polymeren

*Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Warnecke, Prof. Dr. rer. nat. Hans-Christoph Broecker, Dr. rer. nat. Mike Bobert, Fachbereich 13/Chemie und Chemietechnik*

### **Strategien in Informations- und Kommunikationsbranchen**

Über den Umgang mit Netzwerkeffekten, Lock-in-Situationen und First Mover-Vorteilen

*Prof. Dr. rer. pol. Helmut M. Dietl, Dr. Susanne Royer, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

### **Erdtangible und Stille Post**

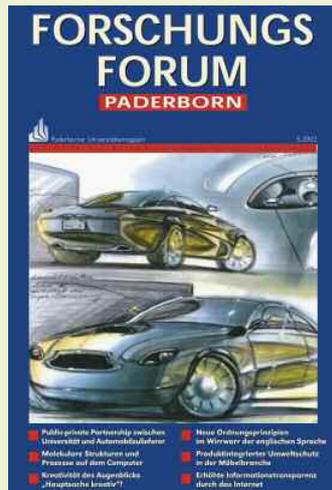
Eine Retrospektive mit sechs künstlerischen Arbeiten und drei kleinen Texten

*Prof. Dr. Franz Billmeyer, Fachbereich 4/Kunst, Musik, Gestaltung*

### **Energiebilanzen landwirtschaftlicher Betriebe**

Energetischer Bewertungsansatz landwirtschaftlicher Produktionssysteme an ausgewählten Beispielen

*Dipl. Ing. agr. Britta Hackenschmidt, Prof. Dr. Norbert Lütke-Entrup, Fachbereich 9/Agrarwirtschaft*



FFP 5/2002

### Innovation und Lernen in Forschung und Anwendung

Geburt einer Public-private Partnership zwischen Universität und Automobilzulieferer

*Dr.-Ing. Thomas Börnchen und Dr. rer. nat. Burkard Wördenweber, Public-private Partnership*

### Musterbildung in Flüssigkristallen

Ein Modellsystem für die Entstehung des Lebens

*Prof. Dr. rer. nat. Heinz-Siegfried Kitzerow, Dipl.-Chem. Nicole Stich, Fachbereich 13/Chemie und Chemietechnik*

### Kultur als Text und Bild

Interdisziplinäre Interpretationen des Bildbegriffs

*Prof. Dr. phil. Renate Schlesier, Dr. Sabine Heiser, Fachbereich 3/Sprach- und Literaturwissenschaften*

### Erhöhte Informationstransparenz durch das Internet

Ein Märchen der Neuzeit?

*Prof. Dr. rer. pol. Mario Rese, Dipl.-Kfm. Gernot Gräfe, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

### Globalisierte Grabinschriften

Sefardische Sprachzeugnisse des 17. und 18. Jahrhunderts

*Rafael Arnold, Fachbereich 3/Sprach- und Literaturwissenschaften*

### „Mein Schicksal als Jude, Frau, als Mensch“

Die Erschließung der Tagebücher Jenny Alonis 1935-1993

*Prof. Dr. phil. Hartmut Steinecke, Fachbereich 3/Sprach- und Literaturwissenschaften*

### Neue Ordnungsprinzipien im Wirrwarr der englischen Sprache

Determinanten grammatischer Variation im Englischen

*Prof. Dr. phil. Günter Rohdenburg und Julia Schlüter, Dr. Britta Mondorf, Uwe Vossberg, Fachbereich 3/Literatur- und Sprachwissenschaften*

### Kreativität des Augenblicks

„Hauptsache kreativ“? Kreativität ist alles!

*Prof. Dorothea Reese-Heim, Fachbereich 4/Kunst, Musik, Gestaltung*

### Quantenmechanische Materialsimulationen im Nanometerbereich

Maßschneidern molekularer Strukturen und Prozesse auf dem Computer

*Prof. Dr. rer. nat. Thomas Frauenheim, Fachbereich 6/Physik*

### HyperSkript

Verteiltes Wissen gemeinsam nutzen

*Prof. Dr.-Ing. Reinhard Keil-Slawik, Dipl.-Inform. Andreas Brennecke, Dipl.-Math. Harald Selke, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### Forschungsprojekt „Umweltfreundliche Möbel“

Impulse für den produktintegrierten Umweltschutz in der Möbelbranche

*Prof. Dr. phil. nat. Manfred Sietz und Dipl.-Volkswirt Günter Schumacher, Fachbereich 8/Technischer Umweltschutz*

### Weiche Reifen – fruchtbarer Boden

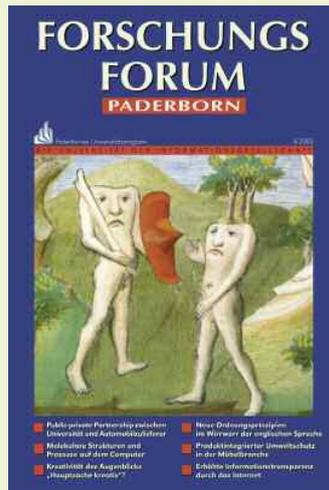
„Umwelt Boden: darauf stehen wir“

*Prof. Dr. agr. Ludwig Volk, Dipl. Ing. Dirk Erdelmann, Dipl. Ing. Christoph Schreiber, Georg Strotmann, Marco Pütz, Daniel Northoff, Marcel Füten, Fachbereich 9/Agrarwirtschaft*

### Moderne Kunststoffverarbeitung

Einschneckenplastifizierung erfolgreich simulieren

*Prof. Dr.-Ing. Helmut Potente, Jens Pape, Tim Pohl, Wilhelm H. Többen, Fachbereich 10/Maschinentechnik*



FFP 6/2003

### Jean de Mandeville

Überlieferungs- und Gattungsstrukturen europäischer Reiseliteratur

Prof. Dr. phil Ernst Bremer, Alexandra Nusser, Fakultät für Kulturwissenschaften

### Ändert der Computer den Unterricht?

Erste Ergebnisse empirischer Forschung zum Lehren und Lernen mit neuen Medien

PD Dr. phil. Sigrid Blömeke, Fakultät für Kulturwissenschaften

### Auf ein Wort

Möglichkeiten und Grenzen der automatischen Spracherkennung

Prof. Dr.-Ing. Reinhold Hüb-Umbach, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

### Erziehung nach Auschwitz

Erinnern an den Holocaust als pädagogische Aufgabe

Prof. Dr. phil. Wolfgang Keim, Fakultät für Kulturwissenschaften

### eLearning-Plattformen für die Hochschule

Bedarfsgerechte Bestimmung der Anforderungen

Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

### Gibt es Leben im All?

Untersuchungen zum Formationsflug von Raumfahrzeugen

Dr. Oliver Junge, Dr. Robert Preis, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

### Flüssigkristalline Dendrimere

Neue Materialien für Display- und Speichertechnologien?

PD Dr. rer. nat. Bernhard Westermann, Prof. Dr. rer. nat. Heinz-Siegfried Kitzerow, Fakultät für Naturwissenschaften

### El español en la sociedad de la información

Die Bedeutung der spanischen Sprache in der Informationsgesellschaft

Prof. Dr. phil. Jutta Langenbacher-Liebgoth, Fakultät für Kulturwissenschaften

### Pentacen – Kunststoff für Transistoren

Neuartige Halbleiter Gegenstand intensiver Forschung

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hilleringmann, Dipl. Phys. Christoph Panne- mann, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

### Sportmedizin hat Golfsport entdeckt

Golf im Fokus sportmedizinischer Forschung

Dr. med. Holger Herwegen, Fakultät für Naturwissenschaften

### Electronic Commerce – Ein Sturm im Wasserglas?

Fällt die „erwartete Revolution“ der Geschäftsprozesse aus oder kommt sie langsam, aber gewaltig?

Prof. Dr. rer. pol. Joachim Fischer, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

### Ultraschall-Zerstäubung von Fluiden

Prozessoptimierung in der Lackiertechnik

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Warnecke, PD Dr. Dieter Bothe, Prof. Dr. Jan Prüß, Dipl. Chem. Oliver Reipschläger, Dipl. Chem. Jörn Vestweber, Fakultät für Naturwissenschaften, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

### Defekte in Festkörpern: Ein Geschenk der Natur

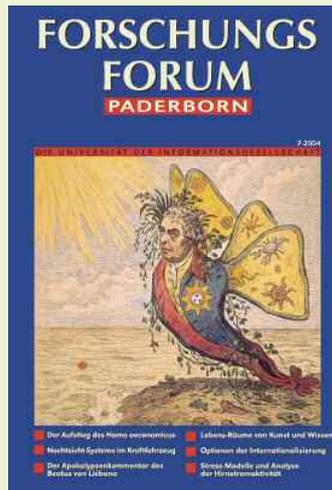
Über den Nutzen und die Struktur kristalliner Fehlstellen

Prof. Dr. rer. nat. Johann-Martin Spaeth, P.D. Dr. rer. nat. Siegmund Greulich-Weber, Fakultät für Naturwissenschaften

### Schmerz – Fluch und Segen

Welchen Beitrag kann die Chemie in diesem komplexen System bieten?

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Risch, Dr. Beatrix Merla, Fakultät für Naturwissenschaften



FFP 7/2004

### Optionen der Internationalisierung

Motive ausländischer Direktinvestitionen in einem neuen Licht

*Prof. Dr. oec. Bernard Michael Gilroy, Elmar Lukas, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*

### „Unter dem Krummstab ist gut leben“ – oder „ruhen“?

Zur Erforschung des geistlichen Staates in der Frühen Neuzeit

*Prof. Dr. phil. Frank Göttmann, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### StarOffice 4 Kids

Mitwachsende Software für den lernenden Nachwuchs

*Prof. Dr.-Ing. Reinhard Keil-Slawik, Dipl.-Inform. Joachim Baumert, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### Software Reengineering

Die Suche nach verlorener Information

*Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer, Dipl.-Inform. Jörg P. Wadsack, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik Prof. Dr. rer. nat. Jens H. Jahnke, Department of Computer Science, University of Victoria*

### Eine schwierige literarische Karriere

Der Aufstieg des Homo oeconomicus in Großbritannien

*PD Dr. Laurenz Volkmann, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Zeichensprachen am Computer

Visuelle Sprachen als intuitives Eingabemedium

*Prof. Dr. rer. nat. Uwe Kastens, Dipl.-Inform. Carsten Schmidt, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik u. Mathematik*

### „Dokumente. Zeitschrift für den deutsch-französischen Dialog“

Eine Plattform frankreichbezogener Landeswissenschaft

*Prof. Dr. phil. Johannes Thomas, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Der Apokalypsenkommentar des Beatus von Lièbana

Informationsverarbeitung im frühen und hohen Mittelalter

*Prof. Dr. phil. Brigitte Englisch, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Lebens-Räume von Kunst und Wissen

Das Welterbe der UNESCO im Fach Kunst

*Prof. Dr. phil. Jutta Ströter-Bender, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Moderne Informationstechnologie in der Lehre

Das offene virtuelle Studiensystem innerhalb des virtuellen Studienfaches Operations Research/Management Science

*Prof. Dr. rer. nat. Leena Suhl, Prof. Dr. rer. pol. Winfried Reiß, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*

### Stress-Modelle und Analyse der Hirnstromaktivität (EEG)

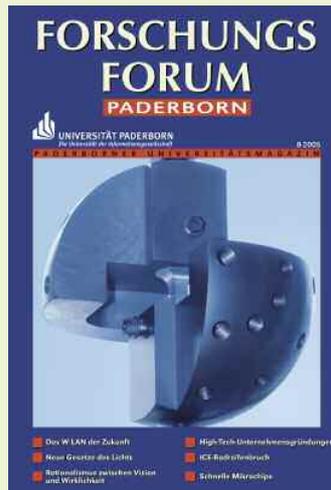
Untersuchung der Wirkung funktioneller Lebensmittel

*Prof. Dr. med. Michael Weiß, Dipl.-Sportwiss. Thorsten Barthel, Dipl.-Sportwiss. Jochen Baumeister, Fakultät für Naturwissenschaften*

### Nachtsicht-Systeme im Kraftfahrzeug

Nutzungsstrategien bei einem neuartigen Fahrerinformationssystem

*Diplom-Psychologe Dr. Jürgen Locher, L-LAB und Hella KG*



FFP 8/2005

### Wohin geht die Reise?

Einstellungen der Bundesbürger zu Urlaubsreisen  
*Prof. Dr. phil. Albrecht Steinecke, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Neue Gesetze des Lichts

Die Idee der photonischen Kristalle  
*Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Ralf B. Wehrspohn, apl. Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Siegmund Greulich-Weber, Fakultät für Naturwissenschaften*

### Grid Computing

Kooperation und gemeinsame Nutzung vernetzter Ressourcen  
*Prof. Dr. rer. nat. Odej Kao, Dipl.-Inform. Matthias Hovestadt, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### Vermögenssteuer, Verluste und Investitionsentscheidungen

Ökumenische Analyse der Renaissance einer umstrittenen Steuer  
*Prof. Dr. rer. pol. Dipl.-Kffr. Caren Sureth, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*

### Schnelle Mikrochips

Preiswerter Anschluss an die Datenautobahn  
*Prof. Dr.-Ing. Andreas Thiede, M.Sc. Zheng Gu, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### Rationalismus zwischen Vision und Wirklichkeit

Descartes, Leibniz und die Grenzen des Machbaren  
*Prof. Dr. phil. Volker Peckhaus, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Mobile Ad-hoc Netzwerke

Das W-LAN der Zukunft  
*PD Dr. rer. nat. Christian Schindelhauer, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### ICE-Radreifenbruch

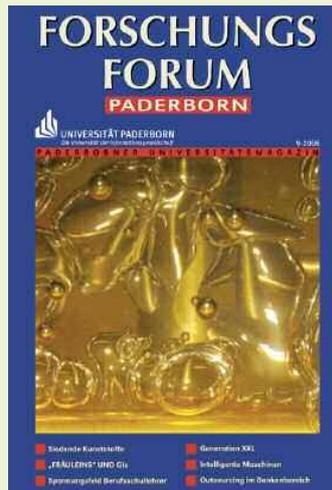
Bruchmechanik trägt zur Klärung der Schadensursache bei  
*Prof. Dr.-Ing. Hans Albert Richard, Fakultät für Maschinenbau*

### High-Tech-Unternehmensgründungen

Wer überlebt und wer überlebt nicht?  
*Prof. Dr. rer. pol. habil., Dr. h.c. mult., Dipl.-Kfm. Wolfgang Weber, Dipl.-Kffr. Anja Schmelter, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*

### Viel Licht und keine Blendung

Aktive Scheinwerfersysteme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit  
*Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek, Dipl.-Ing. Rainer Kauschke, Dipl.-Ing. Jacek Roslak, Fakultät für Maschinenbau*



FFP 9/2006

### Siedende Kunststoffe

An der Schnittstelle von Verfahrens- und Kunststofftechnik  
*Prof. Dr. Ing. Roland Span, Dipl.-Ing. Marcus Wienecke, Dipl.-Ing. Mandy Gerber, Fakultät für Maschinenbau*

### Generation XXL

Übergewicht im Kindesalter: Prävalenz, Ursachen, Folgen  
*Prof. Dr.päd. Wolf-Dietrich Brettschneider, Andrea Bünemann, Fakultät für Naturwissenschaften*

### „Das schwarze Paderborn“

Kommunikationsgeschichtliche Forschungen zu antikatholischen Klischeebildern  
*Prof. Dr. phil. Dietmar Klenke, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Jean-Paul Sartre und die deutsche Okkupation

Zur sozialpsychologischen Dimension seines Erfolgs  
*Prof. Dr. phil. Ingrid Galster, Fakultät für Naturwissenschaften*

### „FRÄULEINS“ UND Gis

Besonderheiten einer historischen Situation  
*Prof. Dr. rer. soc. Annette Brauerhoch, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Der Modellversuch FiT

Berufsschullehrerbildung im Spannungsfeld von Qualität und Quantität  
*Prof. Dr. rer. pol. Peter F.E. Sloane, Eva M. Hertle, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*

### Dynamische Laufzeitprognose bei Extrudergetrieben

Umsetzung ingenieurwissenschaftlichen Wissens in die industrielle Anwendung  
*Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer, Dr.-Ing. Jianquan Bo (jetzt CDTF, Qingdao), Fakultät für Maschinenbau*

### Qubits im Nanokosmos

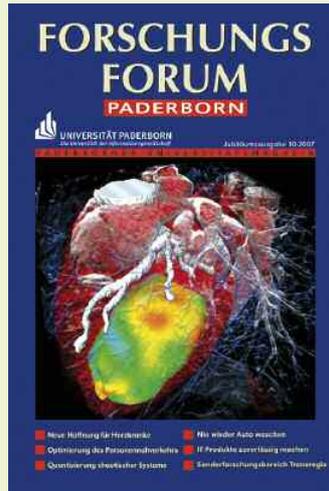
Der Aufbruch in die Welt der Quanten  
*Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner, Fakultät für Naturwissenschaften*

### Selbstoptimierung im Maschinenbau

Auf dem Weg zu den Maschinen von übermorgen  
*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. rer. nat. Franz-J. Rammig, Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer, Fakultät für Maschinenbau, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### Outsourcing im Bankenbereich

Vertrauen ist gut – aber ist Kontrolle wirklich besser?  
*Prof. Dr. rer. pol. Thomas Mellewig, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*



FFP 10/2007

### Neue Hoffnung für Herzranke

Volumenrendering für die Gesundheit

*Prof. Dr. med. Wolfgang Burchert, Prof. Dr. techn. Gitta Domik, Dr. med. Eva Fricke, Dr. rer. biol. hum. Harald Fricke, Dipl.-Inform. Frank Götz, Dipl.-Ing. Reiner Weise*

### Das „Canossa“-Zeitalter

Zwischen historischer Wirklichkeit und Geschichtskonstruktion

*Prof. Dr. phil. Frank Göttmann, Prof. Dr. phil. Dietmar Klenke, Prof. Dr. phil. Jörg Jarnut, Prof. Dr. phil. Stephan Müller*

### Optimierung des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr

Theorie und Praxis verbinden

*Jun.-Prof. Dr. rer. pol. Natalia Kliewer*

### Nie wieder Auto waschen?!

Entwicklung selbstreinigender Lackierungen

*Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Bremser, M. Sc. Björn Weber*

### Qualitätssicherung für Nanochips

Wie IT-Produkte zuverlässig werden

*Prof. Dr. rer. nat. Sybille Hellebrand*

### Chaos in der Quantenmechanik

Quantisierung chaotischer Systeme

*Prof. Dr. rer. nat. Joachim Hilgert, Dr. rer. nat. Florian Rilke*

### „Musterprozesse“ in der Medienentwicklung

Eine interdisziplinäre Sichtweise

*Prof. Dr. phil. Bardo Herzig*

### Optische Technologien für die Informationsgesellschaft

Naturwissenschaftler und Ingenieure forschen gemeinsam am neuen Center für Optoelectronics and Photonics Paderborn (CeOPP)

*Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hilleringmann, Prof. Dr. phil. Klaus Lischka, Prof. Dr. rer. nat. Heinz-S. Kitzerow*

### Funktional gradierte Materialien und Strukturen

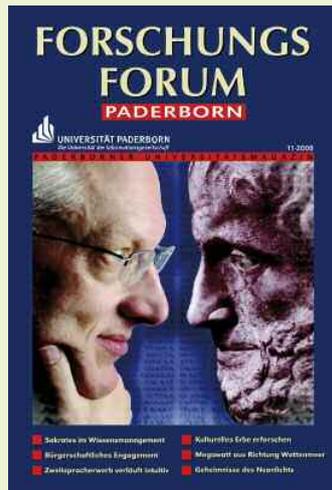
Neuer Sonderforschungsbereich im Maschinenbau

*Prof. Dr.-Ing. Rolf Mahnken, Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier, Prof. Dr. Ing. Hans-Albert Richard, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier*

### Software-Qualität – überall!

Exzellente Software

*Jan-Christopher Bals, Fabian Christ, Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels, Stefan Sauer*



FFP 11/2008

### **Sokrates im Wissensmanagement**

Philosophische Grundlagen in den Computerwissenschaften  
*Prof. Dr. phil. Ruth Hagengruber, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### **Von der Zeichentransformation zur Wissensarbeit**

Digitale Medien eröffnen neue Potenziale für die Wissensarbeit

*Prof. Dr. Reinhard Keil, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Heinz Nixdorf Institut*

### **Bürgerschaftliches Engagement von Individuen und Unternehmen**

Forschungszentrum für Bürgerschaftliches Engagement untersucht das freiwillige Engagement in der Gesellschaft  
*Prof. Dr. Dr. Sebastian Braun, Fakultät für Naturwissenschaften*

### **Geheimnisse des Neonlichts**

Die Kulturgeschichte einer Leuchtstoffröhre  
*Prof. Dr. phil. Christoph Ribbat, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### **Mittelalterforschung in Paderborn**

Das „Institut zur Interdisziplinären Erforschung des Mittelalters und seines Nachwirkens“ (IEMAN) stellt sich vor  
*Prof. Dr. phil. Stephan Müller, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### **Dialogizität des Wissens**

Die Komplexität von Kultur verstehen und zeigen  
*Prof. Dr. phil. Claudia Öhlschläger, Claudia Röser, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### **Kulturelles Erbe**

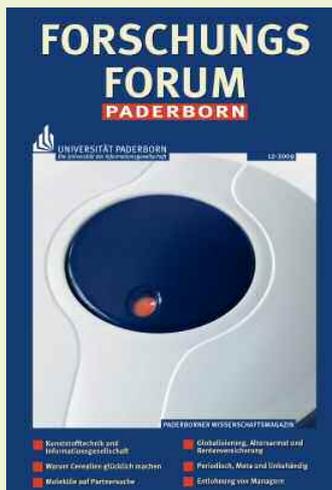
Denkmalpflege, Restaurierung, Authentizität, Wiederaufbau  
*Prof. Dr. phil. Eva-Maria Seng, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### **Megawatt aus Richtung Wattenmeer**

Betriebsverhalten von Offshore-Windparks  
*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Voss, Dipl.-Phys.-Ing. Jörg Bendfeld, Dipl.-Wirt.-Ing. Michael Splett, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### **Zweitspracherwerb verläuft intuitiv**

Paderborner Spracherwerbsforschung macht kognitive Mechanismen im Zweitspracherwerb messbar  
*Prof. Dr. phil. Manfred Pienemann, Dr. phil. Jörg-U. Keßler, Fakultät für Kulturwissenschaften*



FFP 12 / 2009

### Frühstücks-Mythen

Warum Cerealien „glücklich“ machen

*Jun.-Prof. Dr. Nicole M. Wilk*

### Von molekularem Fliegenfischen zu neuartigen Klebstoffen

Haftungsmessungen mit Einzelmolekülen auf Oxid- und Metalloberflächen

*Prof. Dr.-Ing. Guido Grundmeier, Dr. Markus Valtiner*

### Kunststofftechnik im Zeitalter der Informationsgesellschaft

Das perfekte Kunststoffprodukt dank anwenderfreundlicher Software

*Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Prof. Dr.-Ing. Helmut Potente, Dipl.-Ing. Karsten Anger, Dipl.-Ing. Robert Weddige*

### Wird die Globalisierung unser Rentensystem verändern?

Gesellschaftliche Umverteilungspräferenzen im Rentensystem

*Jun.-Prof. Dr. Tim Krieger*

### Moleküle auf Partnersuche

Molekulare Erkennung und Selbstorganisation auf atomarer Skala verstehen

*Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt*

### Entlohnung von Managern

Realloptionen im Zusammenspiel mit Anreizkonflikten

*Prof. Dr. Dr. Georg Schneider*

### Periodisch, meta und linkshändig

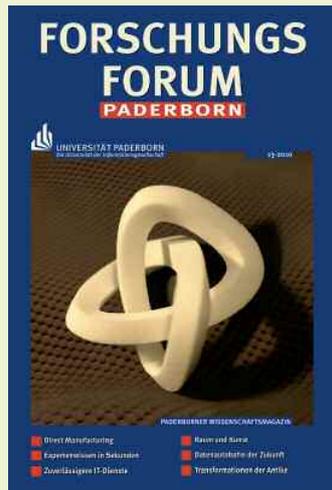
Charakterisierung neuartiger Materialien durch Computersimulation

*Prof. Dr.-Ing. Rolf Schuhmann, Dipl.-Ing. Bastian Bandlow*

### Wavelets: Kleine Wellen mit großer Wirkung

Algorithmische Neuentwicklungen in der Angewandten Mathematik

*Prof. Dr. Angela Kunoth*



FFP 13/2010

### Transformationen der Antike

Rezeptionsformen der griechisch-römischen Literatur in der Moderne: Übersetzungen – Adaptionen – Umschreibungen  
*Dr. phil. Stefan Elit*

### Computerunterstützte koaktive Wissensarbeit

Verstehen und Wissen setzen soziale Interaktion voraus  
*Prof. Dr. Reinhard Keil, Dipl.-Inform. Dominik Niehus, Dr. Harald Selke, Dipl.-Inform. Jonas Schule*

### PAPI – Paderborner Adipositas Prävention und Intervention

„Unbeschwertes Aufwachsen“ der Kinder in Stadt und Kreis Paderborn  
*Prof. Dr. Helmut Hesecker, Prof. Dr. Wolf Dietrich Brettschneider, Prof. Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck*

### Den Profi in der Tasche „Remote Field Assistant“

Expertenwissen weltweit verfügbar innerhalb von Sekunden  
*Dipl.-Ing. Gerhard Schulz, Dr. Christian Reimann*

### Weniger Fehler und Risiken durch Grid-Computing

Wie man unzuverlässige IT-Dienste zuverlässig macht  
*Jun.-Prof. Dr.-Ing. André Brinkmann, Dr. Dominic Battré, Dipl.-Inform. Georg Birkenheuer, Prof. Dr. Odej Kao, Dr. Kerstin Voß*

### RaumErleben und RaumFormen in der Kunst

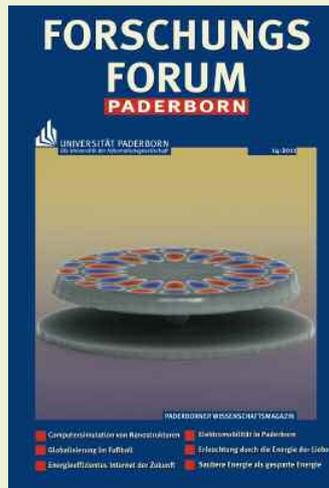
Wahrnehmung und Transformation von Raum in Malerei, Bildhauerei und Museumsarchitektur  
*Prof. Dr. Sabiene Autsch, Prof. Dr. Sara Hornäk*

### Beschleunigung für die Datenautobahn der Zukunft

Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen für die Professoren Reinhold Noé (CeOPP) und Ulrich Rückert (HNI)  
*Prof. Dr. Reinhold Noé, Prof. Dr. Ulrich Rückert*

### Direkt Manufacturing durch additive Fertigung

Oder wie ein Laser aus Pulver Bauteile wachsen lässt  
*Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid*



FFP 14/2011

### Kontrolle von Licht- und Elektronenwellen

Computersimulationen optischer und elektronischer Eigenschaften von Nanostrukturen

Prof. Dr. rer. nat. habil. Torsten Meier, Dr. rer. nat. Jens Förstner, Dr. rer. nat. Matthias Reichelt

### Prozessbezogene Energieeffizienz

Die sauberste Energie ist die gesparte Energie

Prof. Dr.-Ing. habil. Eugeny Kenig

### Der Kneiter

Ein innovativer chemischer Hochviskos-Reaktor

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Warnecke, M. Sc. Oliver Seck, B. Sc. Marko Gemmerich, Dr.-Ing. Christian Hennig

### Türkisch-deutsche Literatur und Kultur

Die Arbeit des bilateralen Forschungsprojekts „Turkish-German Relations and Cultural Transfer“

Prof. Dr. Michael Hofmann, Tobias Zenker M.A.

### Ein traumhaftes Buch: Die Hypnerotomachia Poliphili

Ein Albtraum für den Übersetzer?

Prof. Dr. phil. Rafael Arnold

### Raul zu Schalke, Özil und Khedira zu Madrid

Die Globalisierung des Arbeitsmarktes für Fußball-Profis

Prof. Dr. rer. pol. Bernd Frick

### Ein energieeffizientes Internet der Zukunft

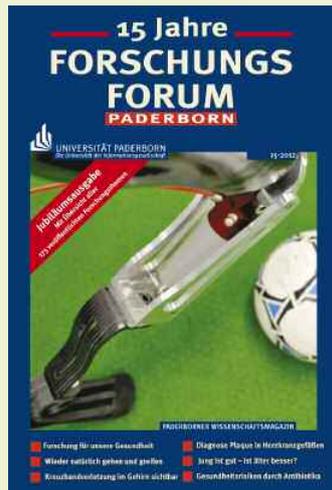
Neue Architekturen und Optimierungen senken Kosten

Prof. Dr. rer. nat. Holger Karl, Dipl.-Inf. Christian Dannewitz, Matthias Herlich, M. Sc.

### Elektromobilität in Paderborn

Kerntechnologien für Automobile von morgen

Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker, Dipl.-Ing. Tobias Huber, Dipl.-Ing. Christoph Romaus, Dipl.-Ing. Andreas Specht



FFP 15 / 2012

### Wieder natürlich gehen und greifen

Intelligente Prothesensteuerungen durch Mustererkennung  
*Prof. Dr. Marco Platzner, Dipl.-Inf. Alexander Boschmann,  
 Dipl.-Inf., Dipl.-Math. Paul Kaufmann*

### Altes Eisen?

Ökonomische Altersforschung am Beispiel der Landes-  
 arbeitsgerichte  
*Prof. Dr. Martin Schneider und Prof. Dr. Uschi Backes-Gellner*

### Verbraucherrisiken durch Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft?

Forschung im Rahmen der Deutschen Antibiotika-Resistenz-  
 strategie (DART)  
*Prof. Dr. Manfred Grote, Dr. Didem Hanim Meriç, Dr. Henning  
 Stevens, Staatl. gepr. LM-Chem. Farzana Chowdhury, M. Sc. Inga  
 Michels*

### Früherkennung von Plaque in den Koronargefäßen

Räumliche Wahrnehmung bei der Untersuchung von Koro-  
 nararterien in CT-Datensätzen  
*Prof. Dr. Gitta Domik, Dipl.-Inf. Stephan Arens*

### Automobileichtbau mit innovativen Werkstoffen und Prozessen

Kraftstoffverbrauch senken und die Umwelt schonen  
*Prof. Dr. Thomas Tröster, Dipl.-Ing. Thorsten Marten,  
 Dipl.-Wirt.-Ing. Dieter Thomas, Dipl.-Ing. Holger Block,  
 Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Lauter  
 und Dipl.-Ing. Markus Thöne*

### Gesund und erfolgreich in Paderborn studieren (GriPs)

Analyse studentischer Lebensstile  
*Prof. Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck,  
 Dr. Astrid Kämpfe, Dipl.-Sportwiss. Carolin Köster*

### Automatismen – Strukturentstehung außerhalb geplanter Prozesse

Paderborner Graduiertenkolleg zwischen Kulturwissenschaft  
 und Informatik  
*Prof. Dr. Hannelore Bublitz, Prof. Dr. Hartmut Winkler*

### Die Rolle des Gehirns nach Kreuzbandverletzungen

Ansatz für innovative Präventions- und Rehabilitationspro-  
 gramme  
*Dr. rer. medic. Jochen Baumeister*