

# FORSCHUNGS FORUM PADERBORN

*mit Leserzeichen*



UNIVERSITÄT PADERBORN  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

19-2016



**Vernetzte Wohnung**

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

Magnetischer Fingerabdruck

Internationale Standorte

Medienkulturen des Kleinen

Origami mit DNA

Kommunizierende Autos

Bildung und kommunales Engagement



UNIVERSITÄT PADERBORN



Ramona Wiesner  
Marketing

## EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser,

im Wissenschaftsjahr 2015 drehte sich alles um die Stadt der Zukunft. Ein wegweisendes Thema, denn in Deutschland leben zwei von drei Menschen in Städten. Klimaanpassung, Energiesicherheit und neue Verkehrskonzepte beschäftigen Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft sowie engagierte Bürgerinnen und Bürger. Einige Beiträge dieses ForschungsForums befassen sich ebenfalls mit Lösungen für eine ressourceneffiziente, lebenswerte Stadt.

Wie Smart Homes unser Leben in punkto Komfort, Sicherheit und Energieeffizienz angenehmer machen, skizziert Prof. Dr. Johannes Blömer in seinem Beitrag „Die vernetzte Wohnung“. Er erläutert das Projekt KogniHome, die mitdenkende Wohnung, das sich mit den wesentlichen Herausforderungen des vernetzten Wohnens beschäftigt und Sicherheitskonzepte entwickelt.

Auch das Studium der Zukunft steht vor neuen didaktischen Aufgaben. Jun.-Prof. Dr. Karl-Heinz Gerholz stellt im Konzept des Service Learnings vor, wie Studierende der Wirtschaftswissenschaften fachwissenschaftliche Inhalte und kommunales Engagement verknüpfen können und ihr Ehrenamt reflektieren.

Um neue Strukturen unserer DNA geht es im Artikel „Origami mit DNA“. Dr. Adrian Keller erklärt darin, wie heute DNA-Stränge zur Erzeugung funktionaler Nanostrukturen eingesetzt werden. Vergleichbar mit einer molekularen Steckplatine lassen sich Proteine oder Nanopartikel ankoppeln und so für Medizin, Sensorik und Elektronik nutzen.

Einen Beitrag zur Energieeffizienz liefert Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt mit seiner Arbeitsgruppe Theo-

retische Materialphysik. Mit atomarer Genauigkeit hat er Defekte in Siliziumsolarzellen nachgewiesen, die deren Wirkungsgrad reduzieren. Nun arbeitet er an der Erhöhung der elektrischen Leistung der Solarzellen und beschäftigt sich mit der Modellierung von Grenzflächen und ihren elektronischen und optischen Eigenschaften.

Wie neue Technologien sich auf Literatur und Kunst auswirken, beschreiben Prof. Dr. Claudia Öhlschläger und Prof. Dr. Sabiene Autsch. Sie befassen sich mit den Medienkulturen des Kleinen: Formate wie SMS, Twitter oder Whatsapp gewinnen an Bedeutung und tragen zur Herausbildung kurzer Literatur-, Film- und Kunstformen bei.

Um das Auto in der Stadt der Zukunft geht es bei dem Verkehrskonzept Car-to-X (C2X) von Prof. Dr. Ing. Habil. Falko Dressler. Im Automobilsektor steht ein Generationswechsel bevor, bei dem sich alles um die Fahrzeugkommunikation dreht: Informationen über Bremsmanöver, Staumeldungen, Ampelschaltzeiten und Warnhinweise tauschen die Fahrzeuge nicht nur untereinander, sondern auch mit ihrer Umgebung aus.

Über die Auswahl internationaler Standorte für Unternehmen forscht Prof. Dr. Stefan Betz. Da immer noch Dreiviertel der Betriebe ihre strategischen Entscheidungen intuitiv fällen, unterstützt Stefan Betz sie mit einem dreistufigen wissenschaftlichen Prozess. Mit Checklisten, Nutzwertanalyse und Kapitalwertmethode macht er das Bewertungsverfahren transparent und objektiv.

Zum letzten Mal wünsche ich Ihnen eine interessante Lektüre des ForschungsForums, denn zukünftig berichten wir an anderer Stelle über unsere Forschungen.

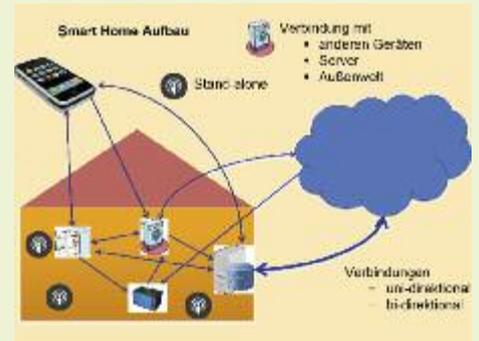
Ihre Ramona Wiesner

Seite 6

**Die vernetzte Wohnung**

Komfortabel, kompatibel und sicher

Von Johannes Blömer und Holger Funke

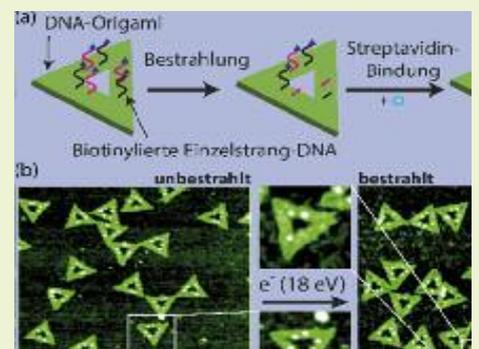


Seite 16

**Origami mit DNA**

Funktionale Nanostrukturen gefaltet aus einzelnen Molekülen

Von Adrian Keller



Seite 24

**Stromverluste in Siliziumsolarzellen aufklären**

Defektnachweis durch magnetischen Fingerabdruck

Von Wolf Gero Schmidt und Uwe Gerstmann



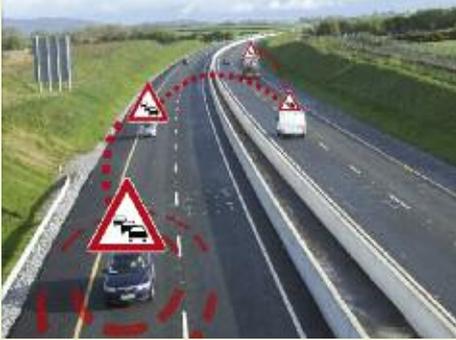
Seite 32

**Medienkulturen des Kleinen**

Warum es lohnt, sich mit Reiskörnern und Blütenstaub, Notizen, Zetteln und Zellen zu beschäftigen

Von Claudia Öhlschläger und Sabiene Autsch





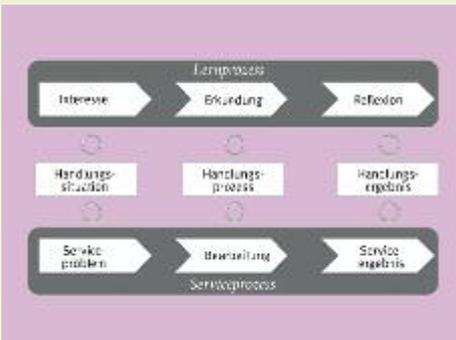
**Mit Car-to-X in die Zukunft**  
Kommunizierende Autos für automatisierte kooperative  
Fahrmanöver  
**Von Falko Dressler und Christoph Sommer**

Seite 40



**Auswahl internationaler Standorte**  
Wie lassen sich Standortentscheidungen methodisch  
unterstützen?  
**Von Stefan Betz**

Seite 46



**Universitäre Bildung und kommunales Engagement**  
Illustriert an einem Design Research-Projekt  
zum Service Learning  
**Von Karl-Heinz Gerholz**

Seite 54

**19 Jahre**  
1998 bis 2016  
**FORSCHUNGS  
FORUM**  
**PADERBORN**

**Alle Themen im Überblick**  
AUSGABE 1 BIS 19

**19 Jahre**  
**ForschungsForum Paderborn**  
Alle Themen im Überblick

Seite 62

## IMPRESSUM

Herausgeberin

Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn  
Vizepräsidentin für Forschung und  
wissenschaftlichen Nachwuchs

Konzeption und Redaktion  
Ramona Wiesner  
Marketing

Warburger Str. 100, 33098 Paderborn  
05251 60-2553, -3880  
wiesner@zv.uni-paderborn.de  
www.uni-paderborn.de/marketing

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

Wissenschaftlicher Beirat  
Prof. Dr. rer. nat. Sybille Hellebrand  
Prof. Dr. Hermann Kamp  
Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn  
Prof. Dr. Nancy V. Wunderlich  
Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner

Grafik-Design  
PADA-Werbeagentur  
05251 527577

Drucklegung  
Februar 2016

Auflage  
5 000

ISSN (Print) 1435-3709

## TITEL

Vernetzte Wohnungen oder Smart Homes finden zunehmend größere Beachtung in der Bevölkerung. Schließlich werden eine Steigerung der Energieeffizienz, des Komforts und des Lebensgefühls versprochen sowie Möglichkeiten, die uns ein möglichst langes selbstbestimmtes Wohnen in den eigenen vier Wänden erlauben. Vernetzte Systeme beinhalten jedoch stets auch Sicherheitsprobleme, die im Artikel „Die vernetzte Wohnung – komfortabel, kompatibel und sicher“ beschrieben sind und für die Lösungsvorschläge dargestellt werden (Seite 6).



Quelle: Fronline



Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn

## VORWORT

*Liebe Leserinnen und Leser,*

*die Wissenschaftsjahre stellen seit dem Jahr 2000 immer wieder verschiedene Disziplinen in den Fokus, um sie gezielt im Dialog mit der Wissenschaft für die Gesellschaft erlebbar zu machen.*

*Das diesjährige Thema „Stadt der Zukunft“ bedient in zunehmendem Maße die Interessen der Menschen. So ist es doch beispielsweise eine Frage nach der Intelligenz der Technik, welche uns in Zukunft viel Unterstützung in alltäglichen, wie auch in komplexen Dingen bieten kann. Dazu tragen auch und besonders Wissenschaft und Forschung bei. Daher wurde diese Thematik bewusst vom Ministerium für Bildung und Forschung aufgegriffen. Die Frage ist, wie kann eine Stadt der Zukunft dauerhaft aussehen? Wie beantworten sich in einer Zukunftsstadt Fragen zu nachhaltigen Themen, wie Klimaanpassung, Energie, Komfort, demografischer Wandel oder bezahlbarer Wohnraum?*

*Die Stadt ist für die meisten Menschen der Lebensstandort Nummer eins. Für die Stadt der Zukunft gibt es viele Ideen, die das Leben verbessern. Diese Fragen können jedoch nur zusammen mit Experten aus Kommunen, Wissenschaft, Wirtschaft, Kultur, Politik und Gesellschaft beantwortet werden – eben den Menschen unserer Zeit.*

*Mit der Entwicklung von und in Städten geschehen viele Ereignisse gleichzeitig aber auch gegenläufig und im Konflikt. Das stellt alle Beteiligten vor große Herausforderungen. Es leben viele Menschen in urbanen Räumen, deren Lebensbereiche und Lebenswelten sich überschneiden. Daher ist es wichtig, die Stadt als Ganzes zu begreifen und so viele Aspekte wie möglich einzubeziehen.*

*Der international renommierte Stadtplaner Jaime Lerner brachte es auf den Punkt: „Die Stadt ist nicht das Problem. Die Stadt ist die Lösung.“ Diese Lösungsmöglichkeiten zu identifizieren und zu entwickeln bedeuten immer neue Herausforderungen, die es anzunehmen gilt. Das Maß an Erwartungen ist hoch. Einerseits ist das Leben im Ballungszentrum einer Stadt komfortabel, andererseits zieht dies aber auch viele Faktoren nach sich, die Forschung und Technik im Besonderen sowie die Gesellschaft im Allgemeinen zu neuen Lösungsansätzen und Denkweisen animiert.*

*Auch das diesjährige ForschungsForum beschäftigt sich mit eben jenen vielfältigen Aspekten zum Thema Stadt der Zukunft, indem zum Beispiel die Möglichkeiten von intelligentem Wohnen in Form eines intelligent vernetzten Hauses oder selbstständig kommunizierenden Autos aufgegriffen wurden.*

*In diesem Sinne wünsche ich allen Leserinnen und Lesern mit dem aktuellen ForschungsForum eine hervorragende Lektüre, die hoffentlich neugierig auf die wissenschaftlichen Themen unserer Zeit macht.*

*Christine Silberhorn*

*Vizepräsidentin für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs*

# Die vernetzte Wohnung

*Komfortabel, kompatibel und sicher*

Von Johannes Blömer  
und Holger Funke



**Prof. Dr. rer. nat. Johannes Blömer** leitet seit dem Jahr 2000 das Fachgebiet Codes und Kryptographie am Institut für Informatik der Universität Paderborn. Forschungsschwerpunkte liegen in der Kryptographie und Algorithmentheorie. In der Kryptographie entwickelt er insbesondere kryptographische Verfahren zur Authentisierung und Verschlüsselung von Daten, die die Sicherheit in großen, vernetzten und dezentralen Systemen unterstützen können.

**Vernetzte Wohnungen oder Smart Homes finden zunehmend größere Beachtung in der Bevölkerung. Schließlich werden eine Steigerung der Energieeffizienz, des Komforts und des Lebensgefühls versprochen sowie Möglichkeiten, die uns ein möglichst langes selbstbestimmtes Wohnen in den eigenen vier Wänden erlauben. Vernetzte Systeme beinhalten jedoch stets auch Sicherheitsprobleme, die in diesem Artikel aufgezeigt werden und für die anschließend Lösungsvorschläge dargestellt werden.**

## **Smart Home – die vernetzte Wohnung**

Es ist kurz vor Ende Ihres Arbeitstags an einem kalten Wintertag. Sie wohnen alleine, und um Energie zu sparen, haben Sie die Heizung Ihrer Wohnung auf eine niedrige Temperatur gestellt. Eine Zeitschaltuhr an der Heizung ist für Sie keine Lösung, da Ihr Arbeitstag schwer voranzuplanen ist. Eine kalte und unfreundliche Wohnung droht Ihnen bei Ihrer Heimkehr. Mit den Techniken und Konzepten von Smart Home oder vernetztem Wohnen (intelligentes Wohnen, Haus der Zukunft) muss Sie diese Vorstellung nicht schrecken. Sie können über Ihr Smartphone zur richtigen Zeit Ihre Heizung starten, um, ohne unnötig Energie zu vergeuden, bei Ihrer Ankunft eine angenehm temperierte Wohnung vorzufinden. Natürlich haben Sie in Ihrem Eingangsbereich eine automatische Personenerkennung installiert, so dass Ihnen ein umständliches Suchen des Schlüssels an einem kalten Winterabend erspart bleibt. Ihre Wohnung ist ausgestattet mit verschiedenen

Sensoren, die insbesondere dafür sorgen, dass in jedem Raum, den Sie betreten, das Licht eingeschaltet wird. Nach Verlassen des Raums wird das Licht nach einiger Zeit automatisch ausgeschaltet, so dass Sie auch hier Energie sparen und gleichzeitig den Wohnkomfort steigern können. Schließlich sind Ihre Waschmaschine und Spülmaschine mit dem Internet verbunden, um den kostengünstigsten Zeitpunkt für die nächste Waschung oder Spülung automatisch zu bestimmen.

Komfort, Lebensgefühl, Sicherheit und Energieeffizienz sind nur einige der Vorteile, die Anbieter von Smart Home-Konzepten versprechen. Schon vor 20 Jahren ließ sich Bill Gates ein hoch technisiertes Wohnhaus bauen, das viele Konzepte des vernetzten Wohnens umsetzte. Zwei technologische Entwicklungen haben dem vernetzten Wohnen in den letzten Jahren einen deutlichen Schub versetzt. Musste Bill Gates noch sein gesamtes Haus verkabeln, um Smart Home umzusetzen, kann dies heute zumindest teilweise über Funknetze erledigt werden. Damit können auch in älteren Wohnungen ohne aufwendige Umbauten Smart Home-Konzepte realisiert werden. Schließlich musste Bill Gates sein Haus über einen zentralen Rechner mit umständlicher Handhabung steuern. Heute können die Komponenten eines intelligenten Hauses bequem über Apps auf dem Smartphone oder dem Tablet in das Haus integriert und gesteuert werden. Für eine mit allen Annehmlichkeiten von Smart Home ausgestattete Wohnung ist aber auch heute noch ein großer technischer Aufwand einschließlich umfangreicher

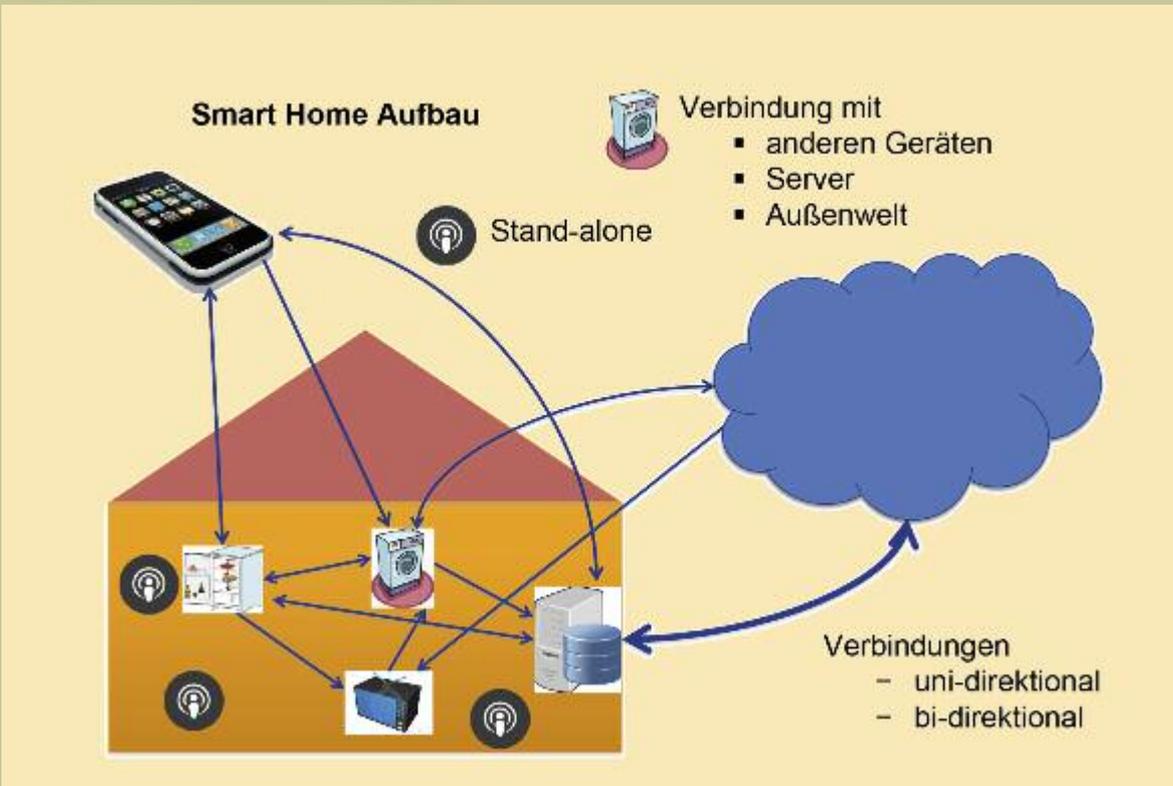


Abb. 1: Smart-Home-Kommunikation. Grafische Darstellung der Kommunikation in einem Smart Home.

Verkabelung notwendig. So zeigt (Abbildung Wohnung Rohbau) den Rohbau einer Musterwohnung bei einem der Projektpartner von KogniHome. In der fertigen Wohnung sieht man hiervon dann nicht mehr viel (Abbildung Wohnung nachher).

Der Markt für Smart Home-Angebote wächst stetig. Neben Angeboten von Einzellösungen, etwa im Türbereich, für Jalousien oder Beleuchtung, versprechen einige große Firmen Komplettlösungen für das vernetzte Wohnen. Anders als diese Angebote vermuten lassen, sind viele Forschungsfragen im Bereich von Smart Home

noch ungelöst (siehe z. B. [1]). Diese werden in den Entwicklungsabteilungen der entsprechenden Unternehmen und in einer Vielzahl akademischer Projekte untersucht. Zu den von der EU oder dem BMBF geförderten Projekten im Bereich Smart Home gehört auch das Projekt Vernetztes Wohnen – die mitdenkende Wohnung (KogniHome), an dem neben dem Exzellenzcluster CITEC der Universität Bielefeld und vielen Unternehmen aus OWL auch die Universität Paderborn beteiligt ist.

**KogniHome – die mitdenkende Wohnung**

Das Projekt KogniHome (siehe [2]) thematisiert einige der wesentlichen Herausforderungen von Smart Home oder vernetztem Wohnen. Kompatibilität und Interoperabilität verschiedener Ansätze sind heute nicht gegeben. Viele Techniken und Einzellösungen lassen sich somit nicht miteinander kombinieren oder in (angebliche) Komplettlösungen integrieren. So vielfältig wie die Anbieter im Bereich Smart Home sind, so vielfältig sind auch die Kommunikationsprotokolle, die in diesem Bereich eingesetzt werden. Jeder Hersteller versucht sich hier im Ringen um Marktanteile mit seinem System von den Systemen der Konkurrenten abzusetzen. Unterschiedliche Normen und Standards schlagen sich somit als technische Realisierung in eigenen Produktkategorien nieder. Als Folge bietet der Markt zahlreiche Insellösungen an, deren Komponenten mit keinem anderen System kompatibel sind. Eine schrittweise Erweiterung existierender Teillösungen ist ebenso schwierig. Die Einrichtung oder Bedienung einzel-



Quelle: Claudia Funke

Abb. 2: Avatar. Ein Avatar in der Musterwohnung des CITEC, Universität Bielefeld. Der Avatar begrüßt z. B. Besucher am Eingang der Wohnung. Er kann aber auch in der Küche beim Kochen und beim Aufräumen helfen.



Quelle: Miele

Abb. 3: Wohnung Rohbau. Blick in den Rohbau einer vernetzten Wohnung eines Projektpartners von KogniHome. Die zu sehenden Kabel dienen ausschließlich der Kommunikation.

ner Komponenten erfordert immer noch eine hohe Technikaffinität. Viele Anbieter von Smart Home-Lösungen werben mit der erhöhten Sicherheit der eigenen vier Wände, die mit ihren Lösungen erreicht wird. Diese Aussagen sind nur dann richtig, wenn man die zusätzlichen Angriffspotenziale ignoriert, die durch eine (durchgängige) Vernetzung der eigenen Wohnung geschaffen werden. Um durch regelmäßiges Einschalten der Beleuchtung und Betätigung der Jalousien im Urlaub das Risiko eines Einbruchs zu senken, darf die

Kommunikation zwischen den Komponenten nicht leicht abgehört und analysiert werden können. Unsichere Kommunikationskanäle in einer vernetzten Wohnung gefährden zusätzlich die Privatsphäre der Bewohner, insbesondere wenn Daten gesammelt werden und der Umgang mit diesen Daten nicht klar ist oder keinerlei Einschränkungen unterliegt. Diese offenen Fragen mögen erklären, warum Smart Home oder vernetztes Wohnen in der Bevölkerung insgesamt wenig Anklang und Akzeptanz finden, wie dies eine Umfrage der Zeitschrift ZEIT vom Dezember 2014 zeigt (Tabelle 1).

An diesen Fragen orientieren sich Ausrichtung und Zielsetzung des Projekts Vernetztes Wohnen – die mitdenkende Wohnung (KogniHome): Kerngedanke ist die Entwicklung von Technologien für eine neue Generation von Assistenzdiensten im Haushalt, die eine bisher nicht erreichte Ebene von Nutzerzentrierung bieten. Dazu sind konsequent an Wahrnehmungs- und Interaktionspräferenzen des Menschen orientierte (intuitive) Schnittstellentechnologien zu entwickeln, deren Mühelosigkeit an Interaktion und Unterstützung entscheidend aus einem teilweisen Verstehen von Aufgaben- und Handlungskontexten durch das technische System erwächst (Vision einer mitdenkenden Technik) und durch einen hohen Grad an Individualisierung und Personalisierung weiter gesteigert wird: Das System soll seine(n) Nutzer kennen, auf Gewohnheiten und individuelle Präferenzen eingehen lernen und soziale sowie emotionale Faktoren in der Kommunikation berücksichtigen können (Vision einer „hilfsbereiten Technologie“). Hierzu werden auch sogenannten Avatare wie in (Abb. Avatar) eingesetzt. Die Arbeiten in KogniHome konzentrieren sich dabei zunächst auf Systeme für den Eingangsbereich und die Küche sowie

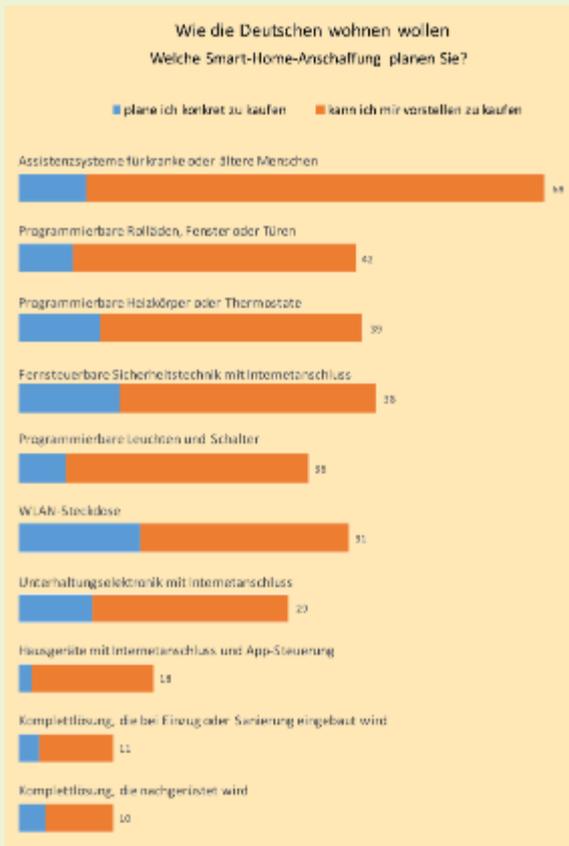


Tabelle 1: Akzeptanz von Smart Home in Deutschland.



Quelle: Miele

Abb. 4: Wohnung nachher. Dieselbe Wohnung wie in Abbildung Wohnung Rohbau nach Abschluss aller Bauarbeiten.

für einen Heimtrainer (Personal Coach) (siehe Abb. KogniHome Teilbereiche). Diese Systeme sollen in eine technische Rahmenarchitektur eingebettet werden, die Heterogenität und inkrementelle Erweiterbarkeit unterstützt und dabei wichtige Aspekte wie Ressourceneffizienz, Sicherheit und Schutz persönlicher Daten gewährleisten kann (Vision einer „vertrauenswürdigen Technologie“). Im Folgenden soll der Aspekt Sicherheit und Schutz persönlicher Daten genauer betrachtet werden.

### **Komfortabel, aber auch sicher?**

Wir werden zunächst demonstrieren, dass es leicht möglich ist, die Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten einer vernetzten Wohnung abzuhören und zu analysieren, wenn diese nicht angemessen geschützt ist. Mit wenig zusätzlichem Aufwand ist es möglich, die Kommunikation innerhalb einer vernetzten Wohnung zu manipulieren.

Grundsätzlich bieten sich zwei Wege an, um Daten und Kommandos zu übertragen: kabelgebunden oder per Funk. Die kabelgebundenen Systeme verwenden entweder eigens für diesen Zweck verlegte Kabel (z. B. KNX) oder bestehende Leitungen (z. B. Powerline). Die funkgebundenen Systeme kommunizieren in Deutschland entweder im frei zu nutzenden Bereich von 868 MHz oder im 2,4-GHz-Band.

Die Autoren haben beim 10. Tag der IT-Sicherheit der Universität Paderborn am 26. März 2015 gezeigt, wie man mit einfachen Mitteln, die in jedem Elektronikfachmarkt erhältlich sind, einen Angriff auf ein Protokoll im Bereich Smart Home starten kann. Exemplarisch wurde dieser Angriff am Funkprotokoll EnOcean gezeigt. Die hier aufgezeigten Schwachstellen lassen sich aber

auch auf andere (Funk-)Protokolle übertragen. Verwendet wird dazu ein zigaretenschachtelgroßer Raspberry Pi (siehe Abbildung Raspberry Pi), auf dem ein Linux läuft und die gefunkten Nachrichten protokolliert werden. Um die Nachrichten zu empfangen, kann ein EnOcean-USB-Stick oder eine extra für den Raspberry Pi entwickelte Steckplatine verwendet werden, die mit jeweils einer Antenne versehen sind. Bringt man dieses System in die Nähe einer Wohnung, in der via EnOcean Steuerungen vorgenommen werden, kann man diese Kommunikation mitprotokollieren. Dieser passive Angriff findet unbemerkt statt und kann vom Hausbewohner nicht erkannt werden. Die Hardware und die Spezifikationen zum Interpretieren der Kommunikation sind für jedermann frei verfügbar erhältlich bzw. einsehbar. Die Software zum Protokollieren der Kommunikation haben die Autoren auf github unter dem Namen EnOceanSpy zur Verfügung gestellt (siehe [3]).

Betrachtet man nun die protokollierte Kommunikation, lassen sich daraus Informationen über die Wohnung bzw. über deren Bewohner gewinnen. Grundsätzlich erkennt man: Wer kommuniziert mit wem und wer versendet wann welche Informationen? Daraus lässt sich ein Profil der Bewohner erstellen bzw. ein Muster der verwendeten Geräte. Mit Hilfe dieser Informationen kann man z. B. erkennen, wann welcher Bewohner für gewöhnlich das Haus verlässt und wann er heimkehrt. Man kann aber auch anhand des übermittelten Stromverbrauchs erkennen, welche Geräte von welchem Bewohner benutzt werden. Dazu müssen diese Geräte noch nicht einmal eine direkte Schnittstelle zum Smart Home aufweisen. Eine funkgesteuerte Steckdose, die den Energieverbrauch an die Smart Home-Zentrale übermittelt, reicht in diesem Fall schon vollkommen aus. Anhand der aufgezeichne-



Abb. 5: KogniHome-Teilbereiche. Die drei Teilbereiche des Projekts KogniHome. Hinzu kommen Bereiche, die Fragen der Vernetzung, der sozialen Auswirkungen und der Sicherheit von vernetzten Wohnungen betrachten.

ten Protokolle lässt sich auf diese Weise also ein tiefer Einblick in die Privatsphäre der Bewohner gewinnen (siehe [4]). In einer anderen Studie wurde von Forschern der TU Darmstadt gezeigt, wie Angreifer die Sehgewohnheiten von Nutzern vernetzter Fernseher identifizieren können (siehe [5]).

#### **Die vernetzte, mitdenkende und sichere Wohnung**

Wie wir oben bereits erläutert haben, kann eine vernetzte Wohnung die Sicherheit gegen Einbruch und Diebstahl erhöhen, allerdings muss hierzu die Kommunikation zwischen den Komponenten einer vernetzten Wohnung entsprechend abgesichert sein. Der letzte Abschnitt hat weiter gezeigt, dass eine vernetzte Wohnung ohne geeignete Sicherheitsmechanismen die Privatsphäre der Bewohner kompromittieren kann. So werden in Zukunft viele Komponenten einer vernetzten Wohnung auf Kameras zurückgreifen, die in eine vernetzte Wohnung integriert sind (siehe Foto Decke). Wir wollen die wesentlichen Anforderungen an eine gesicherte Kommunikation einer vernetzten Wohnung erläutern (eine ausführlichere Erläuterung einiger der hier genutzten Begriffe ist in [6] zu finden).

Zunächst müssen die einzelnen Komponenten einer vernetzten Wohnung vor unbefugtem Zugriff und vor Manipulation geschützt sein. Am Beispiel einer sich automatisch für die Bewohner öffnenden Tür ist der Sinn und die Notwendigkeit dieser Anforderung unmittelbar einsichtig. Bewohner können zum Beispiel durch den Besitz kleiner Sender, wie sie bei Autotüren heute häufig eingesetzt werden, erkannt werden. Offensichtlich sollten nur die richtigen Sender durch die Tür akzep-

tiert werden. Dieser Prozess der Identifikation und der Überprüfung von Rechten von Personen oder Komponenten wird im Bereich der Sicherheit und Kryptographie Authentisierung genannt. Im Alltag authentisieren wir uns regelmäßig, etwa durch das Vorweisen eines Personalausweises oder eines Führerscheins, durch das Eingeben von Passwörtern oder das Eingeben von PINs (Persönliche Identifikationsnummern). Ganz ähnliche Prozesse müssen in einer vernetzten Wohnung technisch umgesetzt werden.

Authentisierung kann allerdings nicht vor dem unbefugten Mithören der Kommunikation oder dem Ausspionieren der Privatsphäre schützen, wie wir es oben bereits demonstriert haben. Um eine vernetzte Wohnung gegen diese Bedrohung zu schützen, muss jede Kommunikation, in der potentiell sensible Daten übertragen werden, vertraulich sein. Dies bedeutet, dass nur die rechtmäßigen Teilnehmer der Kommunikation diese auch verstehen. Dies kann durch Verschlüsselungsverfahren erreicht werden. Richtig eingesetzt garantieren diese Verschlüsselungsverfahren, dass ein Lauscher zwar die verschlüsselt übertragenen Nachrichten sieht, sie aber für ihn völlig unverständlich bleiben. Hingegen können die rechtmäßigen Partner der Kommunikation mittels nur ihnen bekannter zusätzlicher Informationen, sogenannter geheimer Schlüssel, die verschlüsselten Nachrichten aus den ursprünglichen Nachrichten erstellen (Klartexte) und umgekehrt aus den verschlüsselten Nachrichten die Klartexte zurückgewinnen.

Vertrauliche oder verschlüsselte Kommunikation kann in einem weiteren Sinn die Sicherheit vernetzter Wohnungen erhöhen. Befinden wir uns nicht in der Wohnung, so wird in dieser nur wenig



Quelle: Claudia Funke

Abb. 6: Foto Raspberry Pi. Ein solches Gerät genügt, um die Kommunikation in einem Smart Home abzuhören.

und sich wiederholende Kommunikation stattfinden. Ein intelligenter Einbrecher kann, wie im letzten Abschnitt beschrieben, eine Wohnung ausspionieren, um unseren Tagesablauf und dadurch einen guten Zeitpunkt für einen Einbruch zu bestimmen. Eine einfache Lösung für dieses Problem scheinen nutzlose Nachrichten zu sein, die einzelne Komponenten in unregelmäßigen Abständen versenden und die nur Aktivität vortäuschen sollen. Um ihren Zweck zu erfüllen, darf ein Lauscher diese Nachrichten nicht als nutzlose Nachrichten identifizieren. Gute Verschlüsselungsverfahren erreichen genau dies, da mit ihrer Hilfe unnütze, zufällig erzeugte Nachrichten durch einen Angreifer nicht von sinnvollen Nachrichten unterschieden werden können.

Für die Umsetzung von sicherer, d. h. authentisierter und vertraulicher Kommunikation in einer vernetzten Wohnung müssen drei Herausforderungen bewältigt werden, die in die drei Begriffe Verfügbarkeit, Komfort und Kompatibilität zusammengefasst werden können. Betrachten wir als erstes die Verfügbarkeit. Methoden zur Authentisierung und Verschlüsselungsverfahren sind klassische Themen der Sicherheit und Kryptographie mit vielen, auch standardisierten, Lösungen wie SHA1, SHA2 oder SHA3 (Secure Hash Algorithm) zur Authentisierung oder AES (Advanced Encryption Standard) zur Verschlüsselung. Diese Verfahren müssen auf (fast) allen Komponenten einer vernetzten Wohnung effizient umgesetzt werden, um die Verfügbarkeit dieser Komponenten nicht durch langsame Sicherheitsmechanismen zu gefährden. Zu diesen Komponenten gehören Sensoren und Aktoren, die für die kryptographischen Verfahren zur Authentisierung und Verschlüsselung nur wenige Ressourcen bereit-

stellen. Es müssen daher Verfahren entwickelt und umgesetzt werden, die auch auf stark ressourcenbeschränkter Hardware noch sicher und effizient sind. Ergänzend oder alternativ hierzu kann spezielle und kostengünstige Hardware entwickelt werden, die nur für die Ausführung von Authentisierungs- und Verschlüsselungsverfahren eingesetzt wird. Schließlich werden Protokolle benötigt, durch die sich Komponenten mit unterschiedlichen Einschränkungen automatisch auf kryptographische Verfahren einigen, die beide Komponenten effizient unterstützen und die möglichst hohe Sicherheit bieten.

Wir haben oben bereits bemerkt, dass für Verschlüsselungsverfahren sogenannte geheime Schlüssel benötigt werden. Gleiches gilt für kryptographische Verfahren zur Authentisierung. Kurz gefasst, authentisiert sich eine Komponente, indem sie nachweist im Besitz eines geeigneten Schlüssels zu sein, der die Komponente und ihre Rechte identifiziert.

Der Prozess, mit dem eine Komponente einen sie identifizierenden Schlüssel erhält, wird Personalisierung der Komponente genannt. Da der Schlüssel einer Komponente von der Wohnung abhängen muss, in der die Komponente eingesetzt wird, muss die Personalisierung vor Nutzung der Komponente und innerhalb der Wohnung, in der die Komponente genutzt werden soll, durchgeführt werden. Die Personalisierung durch geheime Schlüssel ist ein Problem, das sich in jedem System stellt, das kryptographische Verfahren zur Sicherung des Systems einsetzt. Verfahren hierzu sind notorisch schwierig und wenig nutzerfreundlich. Hier gilt es also im Sinne des Komforts der vernetzten Wohnung Lösungen zu finden, die keine oder wenige Technikbarrieren errichten.



Quelle: Claudia Funke

Abb. 7: Foto Decke. Deckenkonstruktion mit Kameras in einer Musterwohnung am CITEC der Universität Bielefeld.

Erste Lösungsansätze kombinieren einfache, aber sichere Möglichkeiten zur Identifikation der Bewohner (z. B. durch biometrische Daten oder elektronische Ausweise) mit der Nahfeldkommunikation. In jedem Fall wird die Identifikation der Bewohner, wie auch die anderen kryptographischen Techniken, in eine umfassende Sicherheitsarchitektur einer vernetzten Wohnung eingebunden sein müssen.

Aktuelle Ansätze für vernetzte Wohnungen schränken die Wahlmöglichkeiten von Nutzern häufig stark ein, da verschiedene Teillösungen untereinander nicht kompatibel sind. Ein besonders großes Problem sind hierbei die verschiedenen, in der Regel inkompatiblen Kommunikationsprotokolle, die im Bereich vernetztes Wohnen eingesetzt werden. Sind in die Kommunikationsprotokolle kryptographische Verfahren eingebunden, wird Kompatibilität ein noch größeres und drängenderes Problem, das im Rahmen von KogniHome angegangen werden muss. Um dieses Problem zu beheben, werden im Rahmen von KogniHome Kompatibilitätstests entwickelt. Diese Tests gewährleisten, dass unterschiedliche Geräte miteinander kommunizieren können und dass der erfolgreiche und sichere Informationsaustausch gewährleistet ist. Die Komplexität und der Umfang der Tests hängen dabei stark von der Komplexität der zu verwendenden Protokolle ab.

Wie bei jedem anderen größeren System kann in einer vernetzten Wohnung Sicherheit nicht durch

isolierte Einzellösungen erreicht werden. Notwendig ist ein möglichst umfassendes Konzept, das (mindestens) alle wesentlichen realistischen Angriffsszenarien berücksichtigt, ein Identitätsmanagement beinhaltet, Rechte von Nutzern und Komponenten festlegt und verwaltet, Richtlinien für die Nutzung von Ressourcen definiert und deren Einhaltung erzwingt, die Kommunikation zwischen Komponenten absichert und aufbauend auf dem Identitätsmanagement eine sichere Personalisierung von Komponenten ermöglicht. Im Rahmen von KogniHome wird ein solches Sicherheitskonzept entwickelt werden, für das einige Ansätze oben bereits beschrieben wurden. Weitere Überlegungen werden im Folgenden kurz skizziert.

Sicherheit von Systemen ist niemals ein rein technisches Problem. Sicherheitstechnologie muss immer durch weitere Maßnahmen unterstützt werden. So kann der Schutz persönlicher Daten nur bis zu einem gewissen Grad technisch abgesichert werden. Gesetzliche Regelungen, insbesondere im Bereich des Schutzes der Privatsphäre, müssen hier Technik unterstützen. Im Projekt KogniHome arbeiten daher neben Informatikern auch Juristen an Fragen von Sicherheit, Datenschutz und Schutz der Privatsphäre und ein intensiver Austausch zwischen Informatikern und Juristen ist vorgesehen. Im Bereich Vernetzte Wohnung sollten wir kein zu großes (technisches) Verständnis für Fragen der IT-Sicherheit oder des Schutzes

| Smart Home  | Industrie 4.0  |
|---|--|
| Schutz der Privatsphäre   | Schutz vor Industriespionage                                   |
| Datenhoheit in der Wohnung  | Datenhoheit im Unternehmen                                     |
| Sichere Kommunikation zwischen den Haushaltsgeräten                 | Sichere Kommunikation zwischen den Produktionsanlagen          |
| Kommunikation nur mit authentisierten Personen und Haushaltsgeräten | Kommunikation nur mit authentisierten Mitarbeitern und Anlagen |
| Berechtigungen nach Rollen (Schutz vor unberechtigtem Zugriff)      | Berechtigungen nach Rollen (Schutz vor unberechtigtem Zugriff) |
| Verfügbarkeit der Geräte  | Verfügbarkeit der Maschinen                                    |
| Kompatibilität der Geräte/Netze                                     | Kompatibilität der Systeme                                     |
| Datensparsamkeit  | Big Data   |

Quelle: Vortrag zum 10. Tag der IT-Sicherheit Paderborn, 2015 (Blömer, Funke)

Tabelle 2: Vergleich der wichtigsten Konzepte von Smart Home und Industrie 4.0.

der Privatsphäre bei Nutzern voraussetzen. Bei Herstellern und Entwicklern von Produkten für die vernetzte Wohnung muss dies, aus eigenem Interesse, anders sein. Ein wichtiges Prinzip, das beim Entwurf von Gesamtkonzepten oder Einzellösungen für das vernetzte Wohnen stets beachtet werden sollte, kann im Begriff Datensparsamkeit zusammengefasst werden. Hierzu muss bei jeder Komponente festgelegt werden, ob und welche Daten erfasst und weitergeleitet werden müssen. Weiter muss definiert sein, mit welchen Komponenten kommuniziert werden muss und welcher Art die Kommunikation ist. Die Abbildung Smart Home-Kommunikation veranschaulicht einige Typen von Kommunikation. Es sollte dabei unterschieden werden zwischen Kommunikation mit der Außenwelt, Komponenten innerhalb einer vernetzten Wohnung, Kommunikation in eine Richtung (unidirektional, z. B. zwischen Sensor und Aktor) und Kommunikation in beide Richtungen (bidirektional). Datensparsamkeit bedeutet kurz gefasst: Weniger ist mehr. Systeme, geprägt durch

Datensammelwut in Kombination mit komplexen Kommunikationsmustern, sind kaum mit den Anforderungen des Datenschutzrechts zu vereinbaren. Sie abzusichern erfordert zudem aufwendige Techniken, die nur schwer mit Komfort und Kompatibilität einer vernetzten Wohnung in Einklang zu bringen sind.

**Ausblick auf Industrie 4.0**

Die Sicherheitsprobleme und Lösungsansätze, die wir beschrieben haben, sind nicht auf das vernetzte Wohnen beschränkt. Sie treten in ähnlicher und teilweise stärkerer Form in Industrie 4.0 auf. Massenindividualisierte, autonome und datengetriebene Produktion, die sich dynamisch selbstorganisiert und adaptiv auf Ausfälle einzelner Komponenten reagiert, erfordert hochgradig untereinander und mit der Außenwelt vernetzte Produktionsstätten, die viele Charakteristika und Sicherheitsanforderungen von vernetzten Wohnungen aufweisen. Im Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 der Deutschen Akade-

mie der Technikwissenschaft [7] wird daher Sicherheit, insbesondere der Schutz von Anlagen vor Missbrauch und unbefugtem Zugriff, als eines der wichtigsten Handlungsfelder identifiziert. Tabelle 2 zeigt, wie sich einige der von uns im Bereich vernetztes Wohnen aufgeführten Schlagworte und Herausforderungen auf Industrie 4.0 übertragen lassen.

Es ist daher zu erwarten, dass sich viele Erkenntnisse, die im Rahmen des Projekts KogniHome über Sicherheitstechniken und Sicherheitsarchitekturen für das vernetzte Wohnen gewonnen werden, auf Industrie 4.0 anwenden lassen.

### Fazit

Smart Home oder Vernetztes Wohnen bietet neben der Steigerung der Energieeffizienz, des Komforts und des Lebensgefühls in den eigenen vier Wänden viele Möglichkeiten, die uns ein möglichst langes selbstbestimmtes Wohnen in den eigenen vier Wänden erlauben. Um die im Augenblick scheinbar noch recht geringe Akzeptanz des vernetzten Wohnens zu erhöhen, müssen insbesondere Probleme der Datensicherheit, des Datenschutzes und des Schutzes der Privatsphäre gelöst werden, die durch vernetztes Wohnen (wie auch die Industrie 4.0) aufgeworfen werden. Wir haben einige der Probleme genauer beschrieben und Lösungsansätze skizziert, die im Rahmen des Projekts KogniHome weiterentwickelt werden. Wir hoffen, mit diesen Ansätzen viele der Sicherheitsprobleme lösen und Bedenken gegen das vernetzte Wohnen ausräumen zu können. Fraglos ist Sicherheit im vernetzten Wohnen nicht nur ein technisches Problem. Ohne Berücksichtigung des Prinzips der Datensparsamkeit wird sich komfortables und sicheres vernetztes Wohnen nicht realisieren lassen.

### Literatur

- [1] SARAH MENNICKEN, JO VERMEULEN, ELAINE M. HUANG: FROM TODAY'S AUGMENTED HOUSES TO TOMORROW'S SMART HOMES: NEW DIRECTIONS FOR HOME AUTOMATION RESEARCH. UBIComp 2014: 105–115
- [2] [HTTP://WWW.KOGNIHOME.DE](http://www.kognihome.de)
- [3] [HTTPS://GITHUB.COM/HFUNKE/ENOCEANSPY](https://github.com/hfunke/EnOceanSpy)
- [4] [HTTP://BLOG.PROTOCOLBENCH.ORG/2013/09/USE-RASPBERRY-PI-SEEK-ENOCEAN-TELEGRAMS](http://blog.protocolbench.org/2013/09/use-raspberry-pi-peek-enocean-telegrams)
- [5] MARCO GHIGLIERI, FLORIAN OSWALD, ERIK TEWS: HBBTV – I KNOW WHAT YOU ARE WATCHING.

13. DEUTSCHER IT-SICHERHEITSKONGRESS, SECUMEDIA VERLAGS-GMBH, MAY 2013.

[6] JOHANNES BUCHMANN: EINFÜHRUNG IN DIE KRYPTOGRAPHIE. SPRINGER-VERLAG, 2013.

[7] UMSETZUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DAS ZUKUNFTSPROJEKT INDUSTRIE 4.0. ABSCHLUSSBERICHT DES ARBEITSKREISES INDUSTRIE 4.0. [HTTP://WWW.BMBF.DE/PUB/rd/UMSETZUNGSEMPFEHLUNGEN\\_INDUSTRIE4\\_0.PDF](http://www.bmbf.de/pub/rd/umsetzungsempfehlungen_industrie4_0.pdf)



**Holger Funke** arbeitet seit mehr als zehn Jahren bei der HJP Consulting GmbH, mittlerweile als Prokurist und Direktor der Business Unit „Test Tools und Services“. Seit 2005 beschäftigt er sich mit hoheitlichen Dokumenten wie Reisepässen und Personalausweisen. Er beschäftigt sich dabei schwerpunkt-

mäßig mit der Sicherheit und der Interoperabilität von (Chipkarten-)Protokollen. Die Einführung von hoheitlichen Dokumenten hat er im Rahmen seiner Tätigkeiten in zahlreichen Ländern begleitet. Auf internationaler Ebene arbeitet er auch in der Standardisierung und Normung dieser Verfahren und Protokolle.

#### Kontakt

**Prof. Dr. rer. nat. Johannes Blömer**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik**

**Institut für Informatik**

**05251 60-6651**

**bloemer@mail.upb.de**

#### Kontakt

**Holger Funke**

**HJP Consulting GmbH**

**Hauptstr. 35, 33178 Borcheln**

**holger.funke@hjp-consulting.com**



# Origami mit DNA

*Funktionale Nanostrukturen gefaltet aus einzelnen Molekülen*

Von Adrian Keller



**Dr. Adrian Keller** leitet seit 2014 die Arbeitsgruppe Nanobiomaterialien am Lehrstuhl für Technische und Makromolekulare Chemie. Seine gegenwärtigen Forschungsinteressen liegen in den Bereichen DNA-Nanotechnologie, Proteinaggregation, und Protein-Oberflächen-Wechselwirkungen.

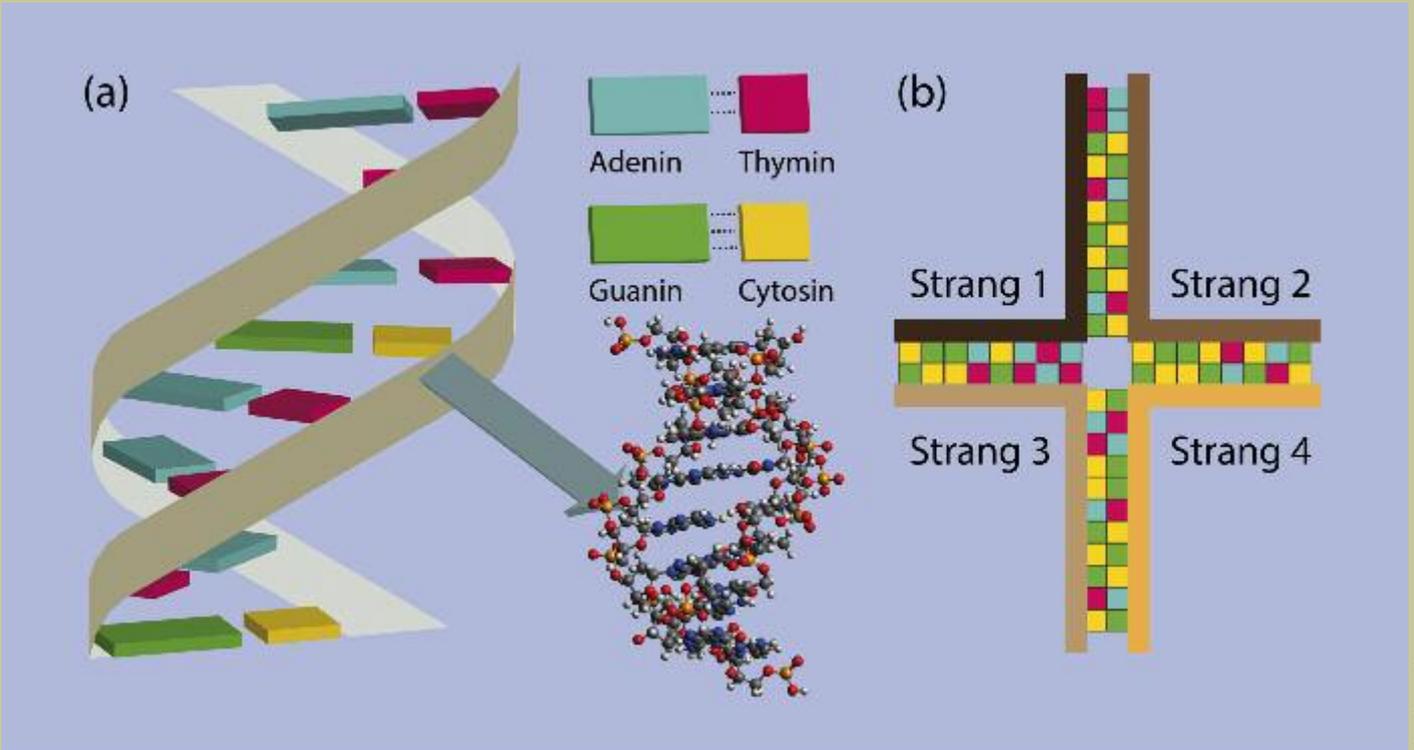
**DNA ist der Träger der Erbinformation. Aufgrund ihrer besonderen strukturellen und chemischen Eigenschaften wird die DNA-Doppelhelix aber auch als Baustein zur Erzeugung funktionaler Nanostrukturen eingesetzt. Durch die hohe Spezifität der DNA-Basenpaarung lassen sich molekulare Wechselwirkungen so programmieren, dass sich DNA-Stränge selbstständig in komplexe Origami-Nanostrukturen falten. Über die nachfolgende Ankopplung organischer oder anorganischer Spezies wie etwa Proteinen oder Nanopartikeln können so funktionale Nanostrukturen mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten in Medizin, Sensorik und Elektronik erzeugt werden.**

Das Forschungsgebiet der Nanotechnologie, welches durch Richard Feynmans visionären Vortrag „There’s Plenty of Room at the Bottom“ im Jahr 1959 begründet wurde, hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einem bunten Feld entwickelt, in dem eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden und Technologien entwickelt und hinsichtlich ihres Potenzials, kleinste funktionale Strukturen herzustellen, untersucht werden. So vielfältig wie die eingesetzten Methoden sind auch die aktuellen und zukünftigen Anwendungsgebiete der Nanotechnologie, welche von der Mikro- und Nanoelektronik über die physikalische, chemische und biologische Sensorik bis zur medizinischen Therapie und Diagnostik reichen.

Alle Ansätze der Nanotechnologie haben jedoch

ein gemeinsames Ziel: die Kontrolle von Materie auf der Skala einiger Nanometer. Das Feld der molekularen Nanotechnologie nutzt hierzu insbesondere das Selbstassemblierungsvermögen von Makromolekülen, welche von Natur aus die entsprechenden Dimensionen aufweisen. Eine besondere Rolle spielt hier die DNA, also das Molekül, in dem der genetische Code gespeichert ist. Aufgrund ihrer besonderen chemischen Struktur und der hochspezifischen Reaktionen, die sie einzugehen in der Lage ist, wurde die DNA bereits Anfang der 1980er-Jahre als Baustein vorgeschlagen, mit dessen Hilfe komplexe dreidimensionale Strukturen aufgebaut werden können [1].

Der Grundgedanke hinter der DNA-Nanotechnologie ist die Nutzung der spezifischen Watson-Crick-Basenpaarung, welche in Abbildung 1 a schematisch dargestellt ist. DNA-Einzelstränge bestehen aus einem polymeren Rückgrat an dem die vier Nucleobasen aufgereiht sind: Adenin (A), Cytosin (C), Guanin (G) und Thymin (T). Die Basen können nun über Wasserstoffbrückenbindungen aneinander binden und sogenannte Basenpaare bilden. Diese Watson-Crick-Basenpaarung ist hochgradig spezifisch, d. h. Adenin kann nur an Thymin binden und Cytosin nur an Guanin. Zwei DNA-Einzelstränge können somit nur aneinander binden wenn sie, wie in Abbildung 1 a dargestellt, komplementäre Basensequenzen aufweisen. Erst dann kann sich die berühmte DNA-Doppelhelix ausbilden, welche einen Durchmesser von 2 nm und eine Ganghöhe von 3,4 nm pro helikaler



Quelle: Keller

Abb. 1: a) Schematische Darstellung der DNA-Doppelhelix und ein entsprechendes atomares Modell, b) Schematische Darstellung einer Vier-Arm-Kreuzung aufgebaut aus vier teilkomplementären DNA-Einzelsträngen.

Windung aufweist. Dieser Vorgang, dass sich zwei komplementäre DNA-Einzelstränge zu einer Doppelhelix zusammenschließen, wird „Hybridisierung“ genannt.

Die hohe Spezifität der Watson-Crick-Basenpaarung kann dazu genutzt werden, auch komplexere DNA-Strukturen zu generieren. Hierzu werden DNA-Einzelstränge miteinander hybridisiert, die nur teilweise komplementär zueinander sind. Auf diese Weise können etwa Kreuzungen aus Doppelhelices erzeugt werden, welche aus vier teilkomplementären Einzelsträngen aufgebaut sind (Abbildung 1 b). Derartige Vier-Arm-Kreuzungen stellen das fundamentalste Strukturmotiv der DNA-Nanotechnologie dar. Eine Vielzahl von zwei- und dreidimensionalen Nanostrukturen mit unterschiedlichen Komplexitätsgraden wurde in den letzten 30 Jahren basierend auf diesem Motiv erzeugt.

### DNA-Origami

Eine besondere Variation dieses Ansatzes stellt eine „DNA-Origami“ genannte Methode dar, welche erstmals im Jahr 2006 von Paul Rothemund vorgestellt wurde [2]. Im Unterschied zur „klassischen DNA-Nanotechnologie“, welche Strukturen aus kurzen, synthetischen DNA-Einzelsträngen aufbaut, findet beim DNA-Origami ein langer, vollständig sequenzierter Gerüststrang, welcher in der Regel ein virales Genom darstellt, Verwendung (Abbildung 2). Dieser wird nun mit einigen hundert kurzen synthetischen Helfersträn-

gen hybridisiert, welche aufgrund ihrer gewählten Sequenzen an mehrere entfernte Stellen auf dem Gerüst binden und dieses so in eine vordefinierte zwei- oder dreidimensionale Struktur falten. Die Form der dabei entstehenden Struktur wird hierbei vollständig von den Sequenzen der einzelnen Helferstränge vorgegeben und kann fast beliebig gewählt werden.

Die Assemblierung der DNA-Origami-Nanostrukturen findet typischerweise unter einem großen Überschuss an Helfersträngen statt, wodurch Assemblierungsfehler nur in geringem Umfang auftreten bzw. dynamisch „ausheilen“. Hierzu werden die einzelnen Stränge in einer  $Mg^{2+}$ -haltigen Pufferlösung gemischt, welche die elektrostatische Abstoßung zwischen den negativ geladenen DNA-Strängen abschirmt. Die resultierende Lösung wird dann schnell auf eine Temperatur zwischen 60 und 90 °C, welche oberhalb der Schmelztemperatur der DNA liegt, aufgeheizt und anschließend über einen Zeitraum von ca. 90 Minuten auf Raumtemperatur abgekühlt. Während dieser Abkühlung haben die einzelnen Helferstränge ausreichend Zeit, ihre komplementären Sequenzen auf dem Gerüststrang zu finden und diesen in die gewünschte Form zu falten. Überschüssige Helferstränge werden anschließend mittels Zentrifugation abgetrennt. Auf diese Weise können innerhalb von zwei Stunden mehrere Billionen annähernd beliebig geformte Nanostrukturen hergestellt werden, wobei sich Ausbeuten an perfekt gefalteten Strukturen von über 90

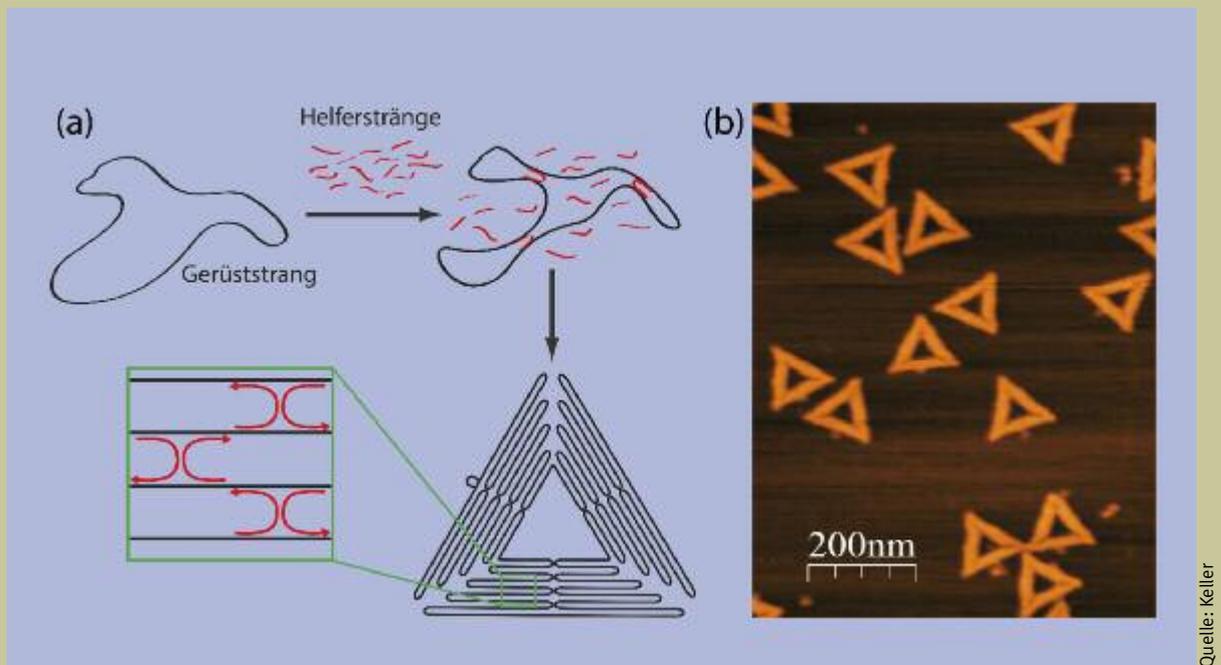


Abb. 2: a) Schematische Darstellung der Assemblierung einer dreieckigen DNA-Origami-Struktur durch Hybridisierung eines zirkulären Gerüst-Einzelstrangs mit einer großen Zahl kurzer synthetischer Helferstränge, b) Rasterkraftmikroskopische Aufnahme entsprechender DNA-Origami-Dreiecke.

Prozent erreichen lassen. Die reinen Synthesekosten der DNA-Origamis liegen bei grob 1 Euro pro Picomol (entspricht 600 Milliarden DNA-Origamis). Allerdings muss für jedes neue DNA-Origami-Design ein neuer Satz an Helfersträngen angeschafft werden, was die Kosten für Designvariationen und -änderungen massiv erhöht.

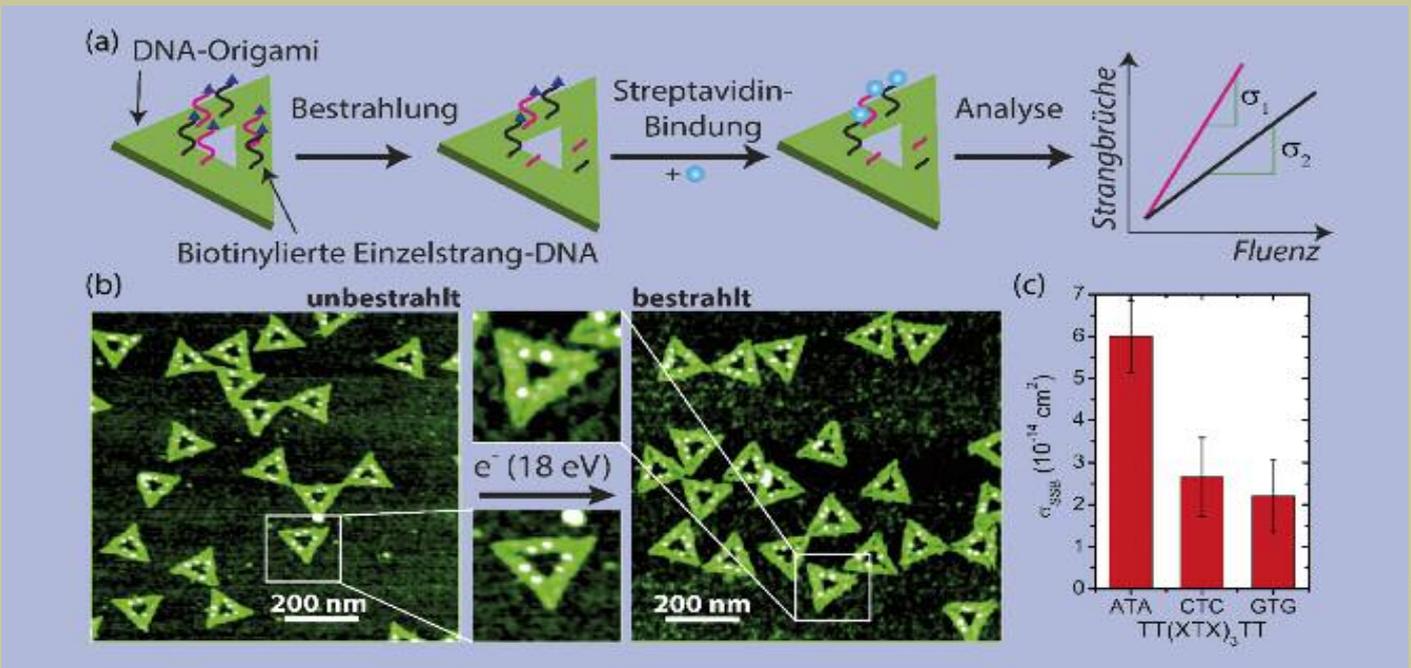
Neben den hohen Syntheseausbeuten zeichnet sich die DNA-Origami-Methode durch ein hohes Anwendungspotenzial aus. Da jeder der Helferstränge eine einzigartige Sequenz aufweist, ist es möglich, jeden der Helferstränge im assemblierten DNA-Origami einzeln zu adressieren und zu modifizieren. Ausgewählte Helferstränge können beispielsweise verlängert werden, so dass sie aus dem DNA-Origami herausragen, oder mit chemischen Modifikationen synthetisiert werden, welche die Ankopplung funktionaler Einheiten ermöglichen. Auf diese Weise wird das DNA-Origami zu einer Art „molekularer Steckplatine“, auf der Funktionselemente mit einer lateralen Genauigkeit von ca. 5 nm in komplexen Arrangements angeordnet werden können. Diese Elemente können sowohl organischer als auch anorganischer Natur sein und mit einer Vielzahl verschiedener Strategien an das DNA-Origami gekoppelt werden.

#### Ein biochemisches Labor auf der Nanoskala

Eine der ersten Anwendungen von DNA-Origami-Nanostrukturen war der Nachweis einzelner Biomoleküle, die spezifische Bindungen mit vordefinierten Rezeptorstellen auf der DNA-Origami-Oberfläche ausbildeten und anschließend

mittels Rasterkraftmikroskopie nachgewiesen werden konnten. Dieser Ansatz ermöglichte die Visualisierung einer großen Anzahl biochemischer Reaktion auf Einzelmolekülniveau, zum Teil in Echtzeit und in Abhängigkeit des Abstandes der auf dem DNA-Origami angeordneten Moleküle [3]. Weiterhin konnte kürzlich am Beispiel elektronen-induzierter DNA-Strahlenschäden gezeigt werden, dass auf diese Weise auch die quantitative Untersuchung biochemischer Reaktionen möglich ist [4].

Die experimentelle Strategie zur quantitativen Untersuchung von DNA-Strahlenschäden ist in Abbildung 3 a dargestellt: DNA-Origami-Nanostrukturen werden durch die Verlängerung von ausgewählten Helfersträngen mit DNA-Einzelsträngen definierter Sequenz dekoriert, wobei jeder der verlängerten Stränge an seinem Ende eine chemische Modifikation (Biotin) trägt. Aufgrund der asymmetrischen Anordnung der verlängerten Stränge können mehrere verschiedene Sequenzen auf demselben DNA-Origami angeordnet und identifiziert werden. Diese DNA-Origami werden dann mit niederenergetischen Elektronen definierter Energie bestrahlt, was zum Bruch chemischer Bindungen im DNA-Rückgrat und somit zu Strangbrüchen in den verlängerten Strängen führt. Solche niederenergetischen Sekundärelektronen entstehen in großer Anzahl bei der Wechselwirkung hochenergetischer Strahlung (z. B. Röntgen- oder Gammastrahlung) mit biologischer Materie und sind für einen großen Anteil der zellulären Strahlenschäden verantwortlich. Aufgrund der induzierten Strangbrüche tragen nur



Quelle: Keller

Abb. 3: a) Experimentelle Strategie für die quantitative, sequenzabhängige Einzelmoleküluntersuchung von DNA-Strahlenschäden, b) Rasterkraftmikroskopische Aufnahmen einer bestrahlten und einer unbestrahlten DNA-Origami-Probe nach der Streptavidin-Ankopplung. Die Bestrahlung mit 18 eV Elektronen führt zu einer Abnahme der spezifisch gebundenen Streptavidinmoleküle durch die Erzeugung von Strangbrüchen, c) Ermittelte Wechselwirkungsquerschnitte  $\sigma_{SSB}$  für die drei untersuchten DNA-Sequenzen.

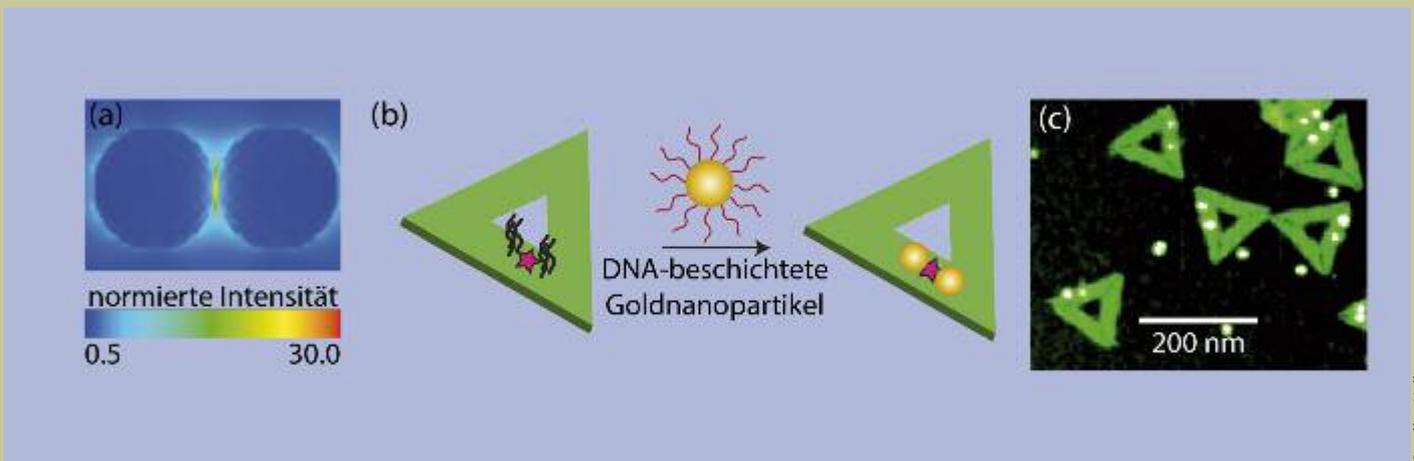
noch intakte Stränge eine Biotinmodifikation. Diese intakten Stränge können dann durch die spezifische Ankopplung eines verhältnismäßig großen Proteins namens Streptavidin, welches eine hohe Bindungsaffinität für Biotin besitzt, markiert und im Rasterkraftmikroskop sichtbar gemacht werden. Dies ist exemplarisch in Abbildung 3 b für eine bestrahlte und eine unbestrahlte Probe gezeigt. Durch eine statistische Analyse der mikroskopischen Aufnahmen wird dann der prozentuale Anteil der induzierten Strangbrüche für jede Sequenz als Funktion der Elektronenfluenz bestimmt, welche einen linearen Anstieg aufweist. Der Anstieg in diesem linearen Regime entspricht dem Wirkungsquerschnitt der DNA-Schädigung für die jeweilige Sequenz.

Mithilfe dieses Ansatzes wurden drei verschiedene DNA-Sequenzen untersucht und die Wirkungsquerschnitte für Bestrahlung mit Elektronen einer Energie von 18 eV bestimmt [4]. Wie sich herausstellte, sind die gemessenen Wirkungsquerschnitte bei dieser Energie stark von der DNA-Sequenz abhängig, wobei die A-haltige Sequenz weitaus anfälliger für Strangbrüche ist als die G- und C-haltigen Sequenzen (Abbildung 3 c). In weiteren Experimenten wurde gezeigt, dass diese Sequenzabhängigkeit auch in Gegenwart des Radiosensibilisators 5-Bromuracil bestehen bleibt [4]. Radiosensibilisatoren sind Medikamente, welche in der Radiotherapie eingesetzt werden, um die Sensitivität von Zellen gegenüber energetischer Strahlung zu erhöhen. Bei 5-Bromuracil geschieht dies durch eine Erhöhung von DNA-Strangbrüchen, welche in den vorliegenden Untersuchungen

ebenfalls eine ausgeprägte Sequenzabhängigkeit aufwies. Derartige Studien stellen eine wichtige Grundlage für das Verständnis der Wirkmechanismen von Radiochemotherapeutika dar, welches eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung verbesserter Medikamente ist.

### DNA-Sensoren zum Nachweis einzelner Moleküle

Neben organischen Spezies wie Proteinen wurde auch eine Auswahl anorganischer Nanopartikel auf DNA-Origami-Substraten immobilisiert. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei Goldnanopartikeln zu, da diese sich durch spezielle optische Eigenschaften auszeichnen. Fällt Licht mit passender Wellenlänge auf diese Partikel, so wird eine kollektive Schwingung des Elektronengases resonant angeregt, welche für die charakteristische rote Farbe von kolloidalen Goldlösungen verantwortlich ist. Diese Schwingung, Plasmon genannt, sorgt weiterhin für eine Verstärkung des elektromagnetischen Feldes in der Umgebung des Nanopartikels. Werden zwei Nanopartikel nahe zusammen gebracht, koppeln die einzelnen Plasmonen, was zu einer zusätzlichen Feldverstärkung in dem kleinen Volumen zwischen den Nanopartikeln führt (Abbildung 4 a). Abhängig von der Art der Nanopartikel und ihrer Anordnung kann diese Verstärkung mehrere Größenordnungen umfassen. Befindet sich nun ein Molekül in dem Bereich der Feldverstärkung, wird es durch das oszillierende elektromagnetische Feld zu Schwingungen angeregt, was zu einer Streuung des einfallenden Lichts führt. Man spricht hier von „Raman-Streu-



Quelle: Keller

Abb. 4: a) Simulation der elektromagnetischen Feldverteilung in der Umgebung von zwei 25 nm Goldnanopartikeln in einem Mittelpunktsabstand von 25 nm, b) Schema der Herstellung von DNA-Origami-Substraten für die oberflächenverstärkte Raman-Streuung. Ein Paar von Goldnanopartikeln wird durch Hybridisierung mit verlängerten Ankersträngen direkt um ein einzelnes Farbstoffmolekül herum immobilisiert, c) Rasterkraftmikroskop-Aufnahme der synthetisierten Substrate.

ung“. Das resultierende Raman-Spektrum enthält Informationen über die im Molekül vorhandenen chemischen Bindungen und ist damit charakteristisch für das Molekül. Durch die extrem hohen Felder, die ein Molekül in der Lücke zwischen den Nanopartikeln erfährt, wird auch die Raman-Intensität massiv erhöht, wodurch sich die Nachweisgrenze wiederum stark verringert. Unter idealen Bedingungen lassen sich mit Hilfe dieser „oberflächenverstärkten Raman-Streuung“ sogar einzelne Moleküle nachweisen. Ein großes Problem in der Nutzung dieser Methode besteht allerdings darin, dass die Feldverstärkung, wie in Abbildung 4 a zu sehen ist, nur in einem sehr kleinen Volumen auftritt. Deshalb muss das zu analysierende Molekül direkt in dieses kleine Volumen gebracht werden, was sich experimentell sehr schwierig gestaltet. Wie kürzlich gezeigt wurde, kann hier der Einsatz von DNA-Origami-Nanostrukturen Abhilfe schaffen [5].

Goldnanopartikel wurden auf DNA-Origami-Substraten angeordnet indem die Nanopartikel über Thiol-Modifikationen mit DNA-Einzelsträngen beschichtet wurden, welche wiederum mit komplementären Ankersträngen auf der DNA-Origami-Oberfläche hybridisieren konnten (Abbildung 4 b). Durch die Kontrolle der Position der Ankerstränge ließen sich auf diese Weise Nanopartikelpaare mit gut definiertem Abstand herstellen, wobei die Feldverstärkung im Zwischenraum durch eine gezielte Variation der Partikelgröße optimiert wurde. Zur Untersuchung der Raman-Sensitivität wurde weiterhin ein einzelnes Farbstoffmolekül als Raman-Sonde an einen Helferstrang zwischen den Nanopartikeln angebunden, so dass dieses Molekül die volle Feldverstärkung erfahren konnte. Mithilfe dieser optimierten Substrate war es so möglich, eine maximale

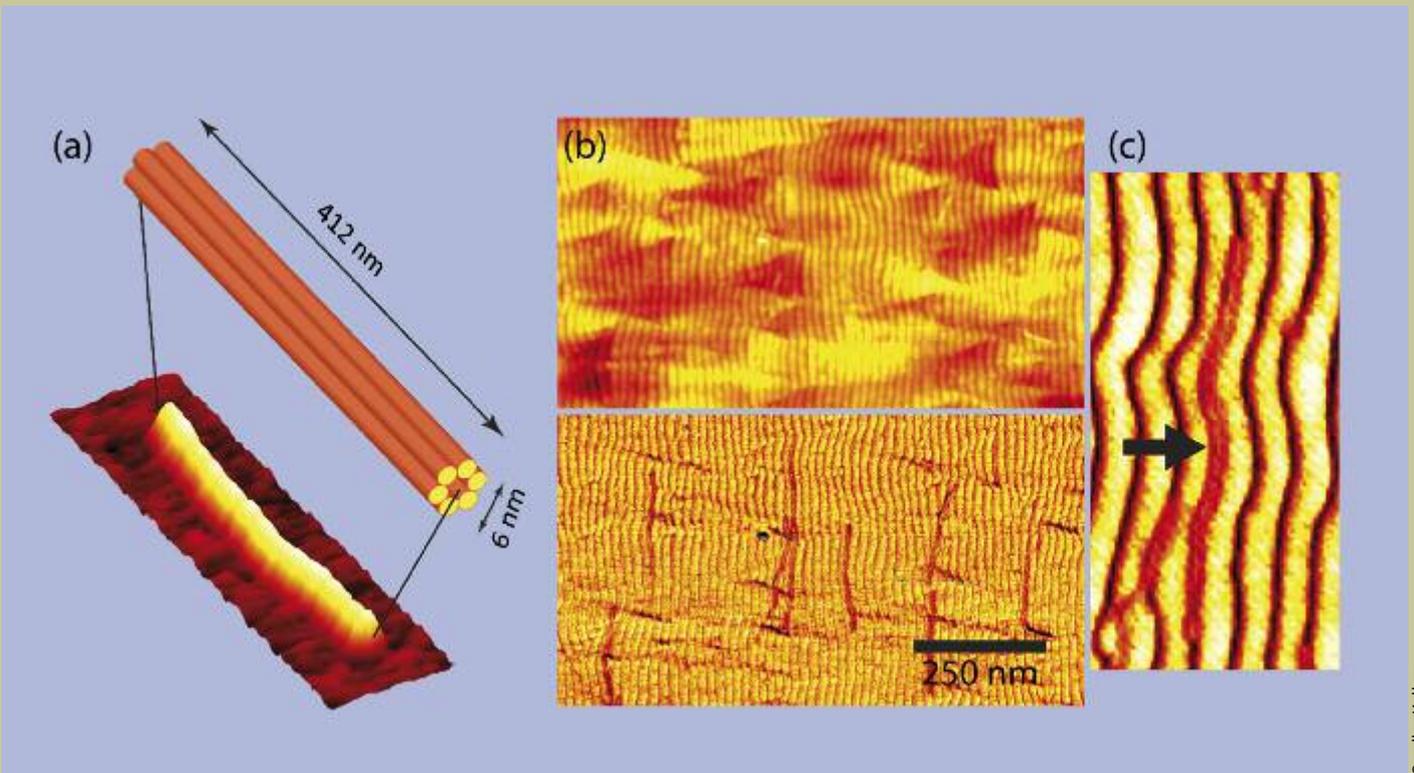
Anzahl von 17 einzelnen Molekülen auf 17 DNA-Origami-Strukturen zu detektieren [5].

Durch weitergehende Optimierungen der Substrate, z. B. durch Verwendung von Silbernanopartikeln oder verschiedener Andockpositionen des Sondenmoleküls, sollte die Nachweisgrenze noch weiter gesenkt werden können. Außerdem können spezifische Rezeptormoleküle zwischen den Nanopartikeln platziert werden, wodurch der selektive Nachweis bestimmter medizinisch relevanter Proteine oder RNA-Stränge möglich wird.

#### Kontrollierte Anordnung von DNA-Nanoröhren

Die mögliche Dekoration von DNA-Origami-Nanostrukturen mit anorganischen Nanopartikeln macht diese auch äußerst interessant für Anwendungen in der Nanoelektronik. Hier liegt der Fokus allerdings in erster Linie auf quasi eindimensionalen DNA-Origami-Strukturen wie etwa Nanoröhren, welche die Funktion von Drähten übernehmen und etwa Halbleiternanokristalle, welche über chemische Modifikationen direkt an die DNA-Nanodrähte gebunden werden können, elektrisch kontaktieren können. Elektrisch leitende Nanodrähte basierend auf DNA-Origami-Nanoröhren können durch die Anbindung von Goldnanopartikeln realisiert werden, welche als Wachstumskeime in einer nachfolgenden stromlosen Goldabscheidung fungieren und so zu einem kontinuierlichen Nanodraht zusammenwachsen. Für den Einsatz in nanoelektronischen Schaltkreisen ist es jedoch unerlässlich, diese DNA-Origami-Nanodrähte gezielt auf Oberflächen anzuordnen. Durch den Einsatz von topographisch vorstrukturierten Oberflächen kann dies auf einfache Weise erreicht werden [6].

Für die topographische Strukturierung von Siliziumsubstraten wurde hier die selbstorganisierte



Quelle: Keller

Abb. 5: a) DNA-Origami-Nanoröhre, b) Topographische Aufnahme (oben) und Phasenkontrast (unten) einer vorstrukturierten Siliziumoberfläche mit adsorbierten DNA-Origami-Nanoröhren. Erst der chemische Phasenkontrast ermöglicht die Identifikation der DNA-Origami-Nanoröhren in den Wellentälern, c) Einzelne DNA-Origami-Nanoröhre in einem gekrümmt verlaufenden Wellental.

Bildung nanoskaliger Wellenmuster während der niederenergetischen Ionenbestrahlung genutzt [7]. Diese Muster zeichnen sich durch eine quasi sinusförmige Topographie und ein niedriges Aspektverhältnis aus. Weiterhin kann die Wellenlänge im Bereich von einigen zehn bis mehreren hundert Nanometern über die Variation der Ionenenergie eingestellt werden. Auf solchen Wellenmustern wurden DNA-Origami-Nanoröhren bestehend aus sechs parallelen DNA-Doppelhelices von 412 nm Länge (Abbildung 5 a) adsorbiert. Abbildung 5 b zeigt rasterkraftmikroskopische Aufnahmen der DNA-Origami-Nanoröhren auf einem Wellenmuster mit 30 nm Wellenlänge. Aufgrund der geringen Höhe der Nanoröhren sind diese in rein topographischen Bildern nur schwer zu erkennen und werden erst im Phasenkontrast gut sichtbar. In diesem Abbildungsmodus wird der Phasenversatz zwischen dem elektrischen Anregungssignal, welches die Rasterkraftmikroskopspitze in Schwingungen versetzt, und dem optisch detektierten Signal als Funktion der Spitzenposition auf der Oberfläche aufgetragen. Der Wert des Phasenversatzes ist abhängig von einer Reihe von Materialeigenschaften wie etwa Elastizität, Reibung und Adhäsion und ermöglicht damit die Identifikation unterschiedlicher Materialien. Wie der Aufnahme zu entnehmen ist, befinden sich die Nanoröhren bevorzugt in den Wellentälern und ordnen sich dem Muster folgend an. Die Ausbeute an ausgerichteten Nanoröhren hängt jedoch

empfindlich von der Wellenlänge der Muster und der Ionenstärke der Adsorptionslösung ab. Diese Beobachtungen zusammen mit Simulationen der elektrischen Feldverteilung entlang der geladenen Oberfläche deuten darauf hin, dass für die Ausrichtung der Nanoröhren rein die elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen der geladenen Oberfläche und den geladenen DNA-Nanoröhren verantwortlich sind. Durch eine optimale Kombination von Musterwellenlänge und Ionenstärke lassen sich so Ausbeuten an ausgerichteten Nanoröhren von über 70 Prozent erreichen [6]. Die Beobachtung, dass die Ausrichtung der Nanoröhren rein topographiebedingt ist, macht diese Methode besonders vielseitig, da keinerlei chemische Modifikationen der Oberfläche oder der DNA-Origamis notwendig sind und sie auch auf andere Materialien übertragbar ist. Weiterhin ist sie auch nicht auf selbstorganisierte Wellenmuster beschränkt, sondern kann auf eine Vielzahl von Nanostrukturierungstechniken angewendet werden. Durch den Einsatz lithographischer Techniken sollten sich so auch komplexere und hierarchische Anordnungen realisieren lassen. Insbesondere ist so auch die Erzeugung von Anordnungen gekrümmter Nanoröhren mit definiertem Krümmungsradius oder vordefinierten Knicken möglich. Dies ist exemplarisch in Abbildung 5 c verdeutlicht, welche eine einzelne DNA-Origami-Nanoröhre in einem Wellental zeigt, das aufgrund von Musterdefekten mehrere Krümmungen

aufweist. Nichtsdestotrotz folgt die Nanoröhre dem Wellental um jede Krümmung und jeden Knick. Besonders diese Eigenschaft ist für einen Einsatz in der Herstellung nanoelektronischer Schaltkreise interessant.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die DNA-Origami-Methode ermöglicht die Herstellung einer großen Anzahl annähernd beliebig geformter zwei- und dreidimensionaler Nanostrukturen in kürzester Zeit und mit hoher Ausbeute. Aufgrund der erstaunlichen Präzision und Kontrolle über die molekulare Struktur, die diese Methode ermöglicht, sind DNA-Origami-Nanostrukturen ausgesprochen interessant für eine Vielzahl technologischer und auch medizinischer Anwendung. Auch wenn seit der Einführung des DNA-Origami im Jahr 2006 enorme Fortschritte in Design, Synthese und Funktionalisierung erzielt wurden, sind jedoch noch viele fundamentale Fragen offen.

Die aktuellen Forschungsarbeiten an der Universität Paderborn fokussieren sich insbesondere auf den Zusammenhang zwischen äußerer Form, innerer Struktur und makroskopischer Funktion der DNA-Origamis, welcher bisher weitestgehend ungeklärt ist. Erste Studien deuten darauf hin, dass ein nicht-trivialer Zusammenhang zwischen DNA-Origami-Faltung und helikaler DNA-Struktur besteht, welcher etwa die chemischen Interaktionen der DNA-Origamis mit Metallionen in komplexer Weise beeinflusst [8]. Diese Arbeiten werden gegenwärtig mit verschiedenen DNA-bindenden Sondenmolekülen fortgeführt, deren Interaktion mit DNA-Origamis in Abhängigkeit von Form und Faltung spektroskopisch untersucht wird.

Weiterhin werden in der Arbeitsgruppe Nanobio-materialien neue Anwendungsgebiete von DNA-Origami-Nanostrukturen untersucht. Das im Rahmen des Forschungspreises der Universität Paderborn geförderte Projekt „Selbstassemblierte DNA-Nanodrähte für zukünftige Informationstechnologie“ etwa evaluiert die elektronischen Eigenschaften von DNA-Origami im Hinblick auf einen potentiellen Einsatz in der Nanoelektronik und Sensorik. Das von der DFG geförderte Projekt „Einzelmoleküluntersuchungen auf DNA-Origami-Substraten“ (KE 1944/2–1) hingegen beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der oben vorgestellten Methode zur Untersuchung biochemischer Reaktionen. Das Ziel hierbei ist die Erschließung neuer Anwendungsgebiete im Bereich der pharmazeutischen Wirkstoffsuche, wo die DNA-Origami-Methode etablierte Techniken wie etwa Phagen-Display oder DNA-codierte chemische Bibliotheken komplementär ergänzen und sowohl zum Verständnis von Wirkmechanismen als auch zur Entwicklung neuer Medikamente beitragen könnte.

### Danksagung

Dank gilt Prof. Ilko Bald an der Universität Potsdam und Dr. Stefan Facsko am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf für die langjährige, ausgezeichnete Zusammenarbeit.

### Referenzen

- [1] SEEMAN, N.C. NUCLEIC ACID JUNCTIONS AND LATTICES. JOURNAL OF THEORETICAL BIOLOGY 99 (1982) 237–247.
- [2] ROTHMUND, P.W.K. FOLDING DNA TO CREATE NANOSCALE SHAPES AND PATTERNS. NATURE 440 (2006) 297–302.
- [3] BALD, I.; KELLER, A. MOLECULAR PROCESSES STUDIED AT A SINGLE-MOLECULE LEVEL USING DNA ORIGAMI NANOSTRUCTURES AND ATOMIC FORCE MICROSCOPY. MOLECULES 19 (2014) 13803–13823.
- [4] KELLER, A.; RACKWITZ, J.; CAUËT, E.; LIÉVIN, J.; KÖRZDÖRFER, T.; ROTARU, A.; GOTHELF, K.V.; BESENBACHER, F.; BALD, I. SEQUENCE DEPENDENCE OF ELECTRON-INDUCED DNA STRAND BREAKAGE REVEALED BY DNA NANOARRAYS. SCIENTIFIC REPORTS 4 (2014) 7391.
- [5] PRINZ, J.; SCHREIBER, B.; OLEJKO, L.; OERTEL, J.; RACKWITZ, J.; KELLER, A.; BALD, I. DNA ORIGAMI SUBSTRATES FOR HIGHLY SENSITIVE SURFACE-ENHANCED RAMAN SCATTERING. THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS 4 (2013) 4140–4145.
- [6] TESHOME, B.; FACSKO, S.; KELLER, A. TOPOGRAPHY-CONTROLLED ALIGNMENT OF DNA ORIGAMI NANOTUBES ON NANOPATTERNED SURFACES. NANOSCALE 6 (2014) 1790–1796.
- [7] KELLER, A.; FACSKO, S. ION-INDUCED NANOSCALE RIPPLE PATTERNS ON SI SURFACES: THEORY AND EXPERIMENT. MATERIALS 3 (2010) 4811–4841.
- [8] OPPERDEN, L.; OERTEL, J.; BARKLEIT, A.; FAHMY, F.; KELLER, A. PARAMAGNETIC DECORATION OF DNA ORIGAMI NANOSTRUCTURES BY  $\text{Eu}^{3+}$  COORDINATION. LANGMUIR 30 (2014) 8152–8159.

#### Kontakt

Dr. Adrian Keller

Fakultät für Naturwissenschaften

Technische Chemie

05251 60-5722

adrian.keller@upb.de



# Stromverluste in Siliziumsolarzellen aufklären

*Defektnachweis durch magnetischen Fingerabdruck*

Von Wolf Gero Schmidt  
und Uwe Gerstmann



**Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolf Gero Schmidt** leitet seit 2006 die Arbeitsgruppe für Theoretische Materialphysik an der Universität Paderborn. Optische und elektronische Anregungen in Halbleitern und Ferroelektrika, quantenmechanische Vielteilcheneffekte, Elektronentransport sowie Phasenübergänge in niederdimensionalen Systemen sind seine aktuellen Forschungsschwerpunkte.

**Solarzellen aus Silizium, wie in Abbildung 1 gezeigt, könnten theoretisch 30 Prozent des Sonnenlichts in Strom umwandeln, doch tatsächlich sorgen unter anderem Grenzflächendefekte dafür, dass bisher selbst unter idealen Laborbedingungen nur etwa 25 Prozent Wirkungsgrad erreicht werden. Durch Elektronenspinresonanz-Spektroskopie in Verbindung mit aufwendigen Computersimulationen am Paderborner PC<sup>2</sup> wurden an siliziumbasierten Heterokontakt-Solarzellen erstmals Defektzustände mit atomarer Genauigkeit nachgewiesen, die zur Rekombination optisch angeregter Elektronen beitragen und somit den Wirkungsgrad verringern. Die Defekte bilden sich genau an der Grenze zwischen dem kristallinen Material des Siliziumwafers und der nur wenige Nanometer dünnen Schicht aus amorphem Silizium.**

## **Photovoltaik auf der Überholspur**

Am 9. Juni 2014 war es erstmalig soweit: Mit rund 180 Gigawattstunden lieferten Solarkraftwerke mehr als die Hälfte, genauer gesagt 50,6 Prozent der elektrischen Energie, die in Deutschland verbraucht wurde. Sowenig diese Zahl über die mit der Energiewende verbundenen technischen Herausforderungen und ökonomischen Probleme aussagt, so illustrativ ist sie für den enormen Zuwachs des Anteils am Nettostromverbrauch, der inzwischen durch Photovoltaik gedeckt wird. Lag dieser Anteil 2004 noch bei kaum messbaren 0,1 Prozent, so werden inzwischen im Mittel 6,9 Prozent unseres Strombedarfs durch Photovoltaik

erbracht. Dies ist vergleichbar mit dem Beitrag der Windenergie, wobei die Zuwachsrate bei der Photovoltaik derzeit deutlich größer ist, vgl. Abbildung 2. An sonnigen Wochentagen kann die Photovoltaik zeitweise bis zu 35 Prozent, an Feiertagen, wie dem oben erwähnten Pfingstmontag 2014, bis zur Hälfte des momentanen Stromverbrauchs abdecken. Damit die Photovoltaik jedoch nicht nur in Bezug auf Umweltschutz und Nachhaltigkeit, sondern auch unter ökonomischen Aspekten ein Erfolg wird, muss sich u. a. der Quotient aus Wirkungsgrad und Herstellungskosten der Solarzellen-Module verbessern. Das Ziel besteht daher darin, möglichst wenig und dabei kostengünstig herstellbares Material einzusetzen, und zugleich das Sonnenlicht möglichst vollständig auszunutzen.

## **Wie entsteht der Strom in der Solarzelle?**

Strom ist die Bewegung von freien Ladungsträgern. Damit eine Solarzelle überhaupt Strom liefert, müssen also zunächst freie Ladungsträger erzeugt, separiert und an den elektrischen Polen der Solarzelle gesammelt werden. Das Sonnenlicht besteht aus Photonen, die je nach Wellenlänge unterschiedliche Energien enthalten. Trifft ein solches Photon auf eine Solarzelle, so können gebundene Elektronen aus dem Kristallverbund des Halbleiters gelöst werden. Dieser Photoeffekt führt zur Generierung von sogenannten Elektron-Loch-Paaren, d. h. frei beweglichen Ladungsträgern. Bevor aus ihnen Solarstrom gewonnen werden kann, muss jedoch noch ein Hindernis



Foto: Jörn Hanneemann/WESTFALEN-BLATT

Abb. 1: Strom aus Dachanlagen. Die 4 570 Quadratmeter große Photovoltaikanlage auf dem Dach der Benteler-Arena in Paderborn kann mit bis zu 600 Megawattstunden den jährlichen Elektroenergieverbrauch von fast zweihundert Haushalten decken. Viele dieser Anlagen könnten zukünftig durch noch effizientere ersetzt werden.

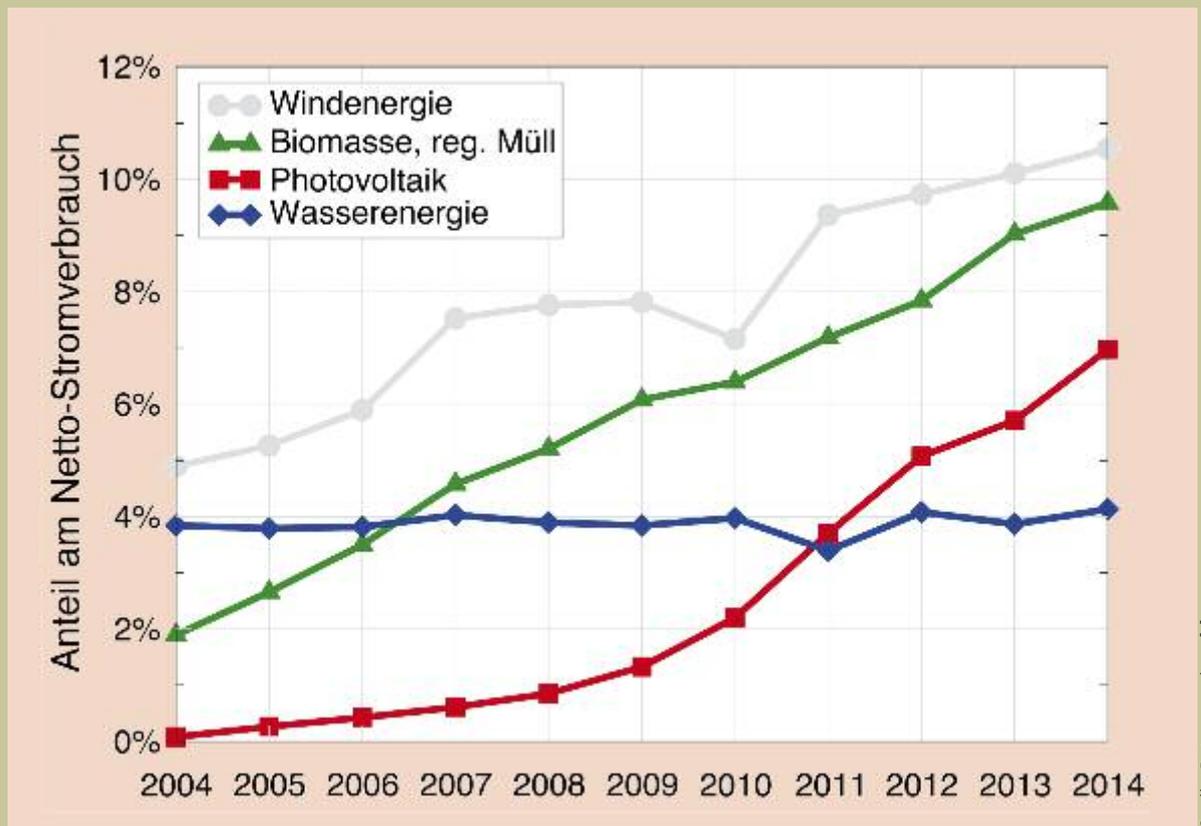
überwunden werden: Die erzeugten Ladungsträger sind nämlich nur kurzzeitig frei beweglich. Elektronen und Löcher neigen dazu, sich rasch wieder zu vereinen, ein Prozess, der Rekombination genannt wird und durch den der für die Solarstromgewinnung grundlegende Photoeffekt wieder rückgängig gemacht wird. Jede Solarzelle braucht daher einen wirkungsvollen Mechanismus, der diese Rekombination auf effiziente Art und Weise verhindert. Benötigt wird eine Grenzschicht, die ähnlich einer halbdurchlässigen Membran fungiert und Elektronen und Löcher voneinander trennt. In Halbleitern kann dies zum Beispiel durch einen pn-Übergang realisiert werden, bei dem sich die Löcher im p-dotierten Bereich und Elektronen im n-dotierten Bereich ansammeln, bevor der Stromkreis durch den Anschluss eines Verbrauchers geschlossen wird und der Solarstrom zu fließen beginnt.

### **Siliziumtechnologie anhaltend dominant**

Mit einem Marktanteil von über 85 Prozent werden in der Photovoltaik derzeit immer noch überwiegend Module auf der Basis von Silizium eingesetzt, obwohl in den letzten Jahren große Anstrengungen unternommen wurden, alternati-

ve, z. B. organische Materialien für die Photovoltaik nutzbar zu machen. Dem Vorteil potentiell vielseitiger und kostengünstiger Herstellungsprozesse organischer Solarzellen steht jedoch ein noch relativ niedriger Wirkungsgrad von knapp über 10 Prozent sowie eine vergleichsweise geringe Lebensdauer von typischerweise nur einigen tausend Stunden gegenüber. Silizium dominiert daher nach wie vor den Markt für Photovoltaik. Es ist ungiftig und hat einen Masseanteil von 26 Prozent an der Erdhülle, d. h. es ist praktisch unbegrenzt verfügbar, genau wie der sprichwörtliche Sand am Meer. Es lässt sich hochrein und einkristallin herstellen und routinemäßig als n- und p-Halbleiter dotieren – eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz in Solarzellen. Durch Oxidation können zudem dünne Isolationsschichten erzeugt werden. Demgegenüber steht jedoch sein Materialcharakter als indirekter Halbleiter, d. h. Photonen mit der Energie der fundamentalen Bandlücke können nicht direkt absorbiert werden. Das erfordert für siliziumbasierte kristalline Solarzellen Schichtdicken von 100 Mikrometer und mehr, um das Licht möglichst vollständig zu absorbieren. Einfachsolarzellen aus Silizium könnten theoretisch 30 Prozent des Sonnenlichts in Strom





Quelle: Datensammlung [1]

Abb. 2: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energie zur Deckung des Netto-Stromverbrauchs in Deutschland.

umwandeln. Neben anderen Verlustmechanismen sorgen jedoch unter anderem Grenzflächendefekte, an denen Rekombination der durch Licht getrennten Ladungsträger stattfindet, dafür, dass dieser Wirkungsgrad selbst unter idealen Laborbedingungen noch nicht realisiert werden konnte: Rekombination, d. h. die neutralisierende Vereinigung der zuvor durch den Photoeffekt optisch angeregten Elektronen und Löcher verringert die Ladungsträgerkonzentration in der Solarzelle und mindert somit die abgreifbare elektrische Leistung.

#### Die gebräuchlichsten Typen von Silizium-Solarzellen sind:

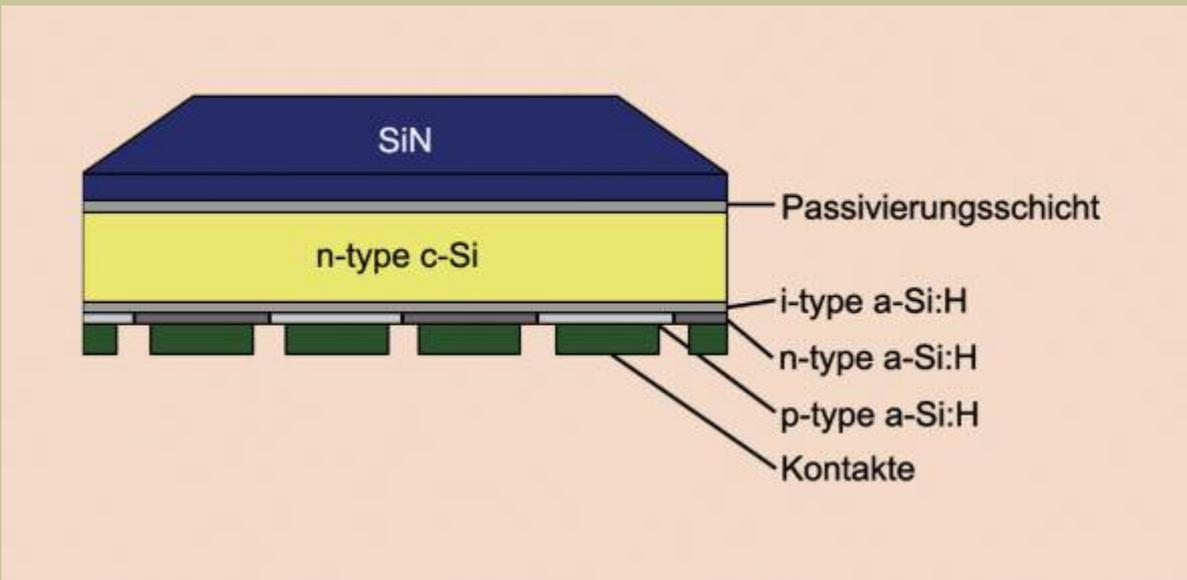
- (i) Polykristalline Zellen bestehend aus Siliziumkristalliten, die nicht überall die gleiche Kristallorientierung aufweisen. Sie können z. B. durch Gießverfahren hergestellt werden und dominieren gegenwärtig aufgrund der vergleichsweise geringen Herstellungskosten den großtechnischen Einsatz. Der nominelle Wirkungsgrad kommerzieller Module ist dabei in den letzten Jahren ziemlich gleichmäßig um etwa 0,3 Prozent pro Jahr gestiegen und liegt zur Zeit bei ungefähr 16 Prozent.

- (ii) Demgegenüber haben kristalline Zellen bestehend aus einkristallinem Material, wie es auch in der Halbleiterelektronik verwendet wird, einen höheren Wirkungsgrad von über 20 Prozent, sind aber deutlich teurer.

- (iii) Amorphe Solarzellen, auch Dünnschichtzellen genannt, werden dagegen sehr preiswert durch Aufdampfen einer wenige Mikrometer dünnen, nichtkristallinen Siliziumschicht hergestellt. Sie haben allerdings nur einen geringen Wirkungsgrad von ca. 7 Prozent und sind vor allem von Kleinanwendungen wie Taschenrechnern oder Uhren bekannt.

- (iv) Als Tandem-Zellen werden übereinander geschichtete Solarzellen bezeichnet, beispielsweise bestehend aus einer Kombination von polykristallinen und amorphen Zellen. Da die beteiligten Zelltypen auf unterschiedliche Wellenlängenbereiche empfindlich sind, erlauben diese Mehrfachsolarzellen eine vollständigere Ausnutzung des Spektrums des Sonnenlichts, sind aber überproportional teurer.

Mit der Siliziumheterosolarzelle ist eine Kombination der oben verfolgten Ansätze (ii) und (iii) seit



Quelle: Schema nach Ref[2]

Abb. 3: Aufbau einer a-Si:H/c-Si-Heterosolarzelle mit rückseitigen interdigitierenden Kontakten.

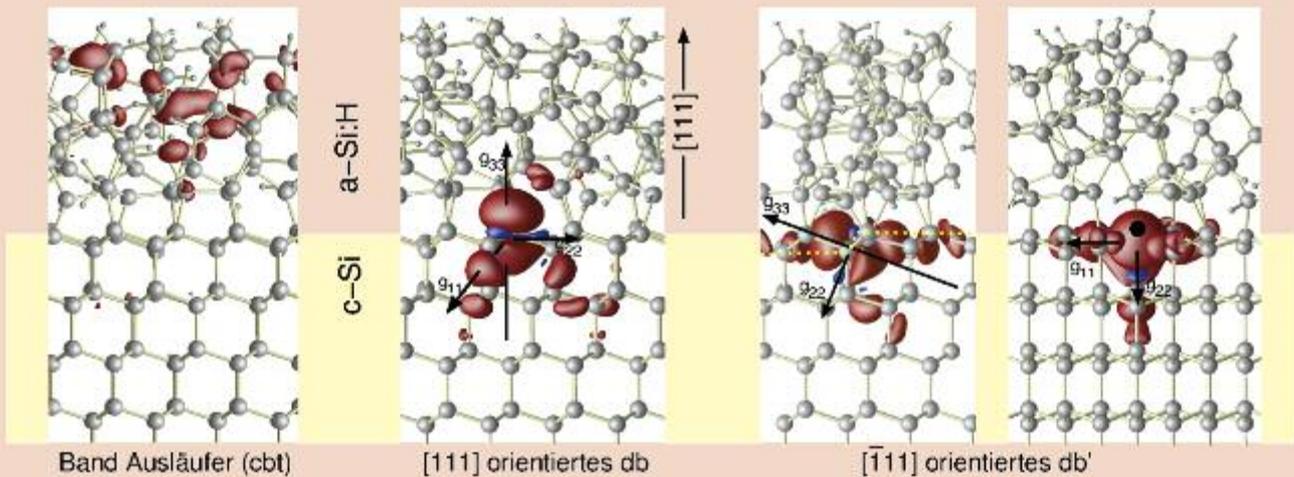
einigen Jahren Gegenstand intensiver Forschung. Dabei werden als Absorber monokristalline Silizium-Wafer (c-Si) genutzt, worauf hydrogenisiertes amorphes Silizium (a-Si:H) mittels Gasphasenabscheidung aufgebracht wird. Das amorphe Silizium, dessen nicht abgesättigte Bindungen mit Wasserstoff saturiert sind, ist dabei flexibel genug, um die Defekte an der Oberfläche des kristallinen Materials zumindest teilweise zu passivieren. Zudem ermöglicht es eine effiziente Separierung der Ladungsträger an der Grenzschicht und die Ableitung des Stroms aus der Solarzelle. Mit einer ausschließlich rückseitig kontaktierten a-Si:H/c-Si-Heterosolarzelle, siehe Schema in Abbildung 3, wurde im April 2014 mit 25,6 Prozent ein neuer Weltrekord für den Wirkungsgrad von siliziumbasierten Einfachsolarmodulen aufgestellt [2].

Entscheidend für die Effizienz und somit für das große technologische Potenzial der Siliziumheterosolarzelle ist eine hervorragende Passivierung der Oberfläche des kristallinen Siliziums mit a-Si:H. Durch die weitgehende Absättigung der freien Si-Bindungen an der Grenzfläche wird die Zahl möglicher Rekombinationszentren reduziert und eine hohe Leerlaufspannung ermöglicht. Der Grenzfläche zwischen a-Si:H und c-Si kommt demnach eine zentrale Bedeutung für die Zelleffizienz zu. Man sucht daher nach geeigneten chemischen Vorbehandlungen der Siliziumkristalloberfläche und optimierten Depositionsbedingungen für die darauf aufzubringende amorphe Siliziumschicht, um die Dichte an elektrisch aktiven Grenzflächendefekten auf ein Minimum zu reduzieren. Eine in diesem Zusammenhang offensichtliche und ganz zentrale Frage ist die nach der Bestimmung der parasitären Grenzflächendicht-

te: Wie kann man überhaupt ermitteln, welche Grenzflächenzustände die Effizienz der Solarzelle während des Betriebs entscheidend beeinflussen?

#### Nachweis von Grenzflächendefekten

Idealerweise benutzt man für den Nachweis der Rekombinationszentren die rekombinierenden Elektronen selbst als Sonde: Jedes Elektron besitzt ein magnetisches Moment, welches neben der Spin-Quantenzahl auch vom sogenannten g-Tensor abhängt. Bei einfachen, isotropen Systemen ist der g-Tensor durch eine einzige Zahl gegeben. Man spricht dann auch vom gyromagnetischen Verhältnis oder vom Landéschen g-Faktor. Für komplexere Materialien wird er richtungsabhängig und zu einer charakteristischen tensoriellen Größe, die sich durch komplizierte Kopplungsmechanismen zwischen den Bahn- und Spin-Drehimpulsen der umgebenden Teilchen ergibt, wie z. B. den Leitungselektronen in einer Solarzelle. Wenn sich Elektronen an den Defekten der Grenzfläche anlagern, läßt die Messung des g-Tensors somit Rückschlüsse auf die chemische Umgebung der Elektronen zu. Mittels Elektronenspinresonanz werden durch Einstrahlung elektromagnetischer Energie im Mikrowellenbereich Übergänge zwischen den verschiedenen Energieniveaus eines Systems von schwach gekoppelten magnetischen Momenten von Elektronen in einem äußeren Magnetfeld induziert. Durch die Detektion dieser Übergänge können dann auch kleinste Abweichungen des g-Tensors vom Wert des freien Elektrons  $g_e = 2.002319$  bestimmt werden. Physiker des Instituts für Silizium-Photovoltaik am Helmholtz-Zentrum Berlin haben diesen Mechanismus ausgenutzt und konnten mittels elektrisch detek-



Quelle: Ref. [3]

Abb. 4: Berechnete atomare Struktur und elektronische Magnetisierungsdichte von rekombinationsaktiven a-Si:H/c-Si-Grenzflächenstrukturen (für weitere Details siehe Text). Im unteren Teil der Strukturen erkennt man jeweils die wohlgeordnete Struktur des kristallinen Siliziums, wohingegen das amorphe a-Si:H Material eine relativ große Unordnung auszeichnet. Freie Bindungen sind hier weitestgehend durch Wasserstoff (H-Atome) passiviert.

tierter Elektronenspinresonanz winzige magnetische Signaturen im Strom von Siliziumheterosolarzellen nachweisen. Dazu wurde die Solarzelle im Magnetfeld einer Mikrowellenstrahlung ausgesetzt [3]. Dabei wurden neben zwei isotropen Resonanzen, welche g-Werten von 1,998 und 2,004 entsprechen, auch zwei deutlich winkelabhängige Signale gemessen. Während der Wert von 1,998 den Leitungsbandelektronen in kristallinem Silizium zugeordnet werden kann, sind die anderen Signale Signaturen von Grenzflächendefekten. Wie aber kann man jetzt ausgehend von diesen Signalen auf die chemische Umgebung und atomare Struktur der Grenzflächendefekte schließen?

Dazu bedient man sich einer Fingerprint-Methode und vergleicht die gemessenen Daten mit den Spektren bekannter Systeme. Numerische Simulationen helfen entscheidend bei der Charakterisierung neuer, bisher noch nicht vermessener Systeme. Insbesondere die Dichtefunktionaltheorie – für deren Entwicklung Walter Kohn 1998 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet wurde – hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einem leistungsfähigen und sehr zuverlässigen Werkzeug der Theoretischen Materialphysik entwickelt, mit dessen Hilfe der quantenmechanische Grundzustand komplexer Systeme mit bis zu einigen tausend Atomen sehr präzise bestimmt werden kann. Die numerische Effizienz und somit der Erfolg der Dichtefunktionaltheorie beruht darauf, dass es mit ihr nicht notwendig ist, die vollständige Schrödingergleichung für das Vielelektronensystem zu lösen. Grundlegende Eigenschaften von Molekülen und Festkörpern, wie beispielsweise Bindungslängen und -energien, können bereits

auf Basis der ortsabhängigen Elektronendichte bestimmt werden. Programmpakete mit verschiedenartigen numerischen Implementierungen der Dichtefunktionaltheorie werden weltweit in zahlreichen akademischen und industriellen Arbeitsgruppen zur Materialcharakterisierung eingesetzt. In der Arbeitsgruppe Theoretische Materialphysik der Universität Paderborn wird die Dichtefunktionaltheorie nicht nur zur Berechnung von Grundzustandseigenschaften genutzt, sondern auch zur Bestimmung von elektronischen Anregungseigenschaften. Die Modellierung von Grenzflächen und deren elektronischer und optischer Eigenschaften bildet dabei einen besonderen Forschungsschwerpunkt dieser Arbeitsgruppe. Da die Wechselwirkung eines Moleküls oder Festkörpers mit elektromagnetischen Feldern im wesentlichen durch die Elektronen bestimmt wird, kann mittels Dichtefunktionaltheorie auch die Antwort eines Systems auf solche Felder berechnet werden. Uwe Gerstmann von der Universität Paderborn hat gemeinsam mit der Arbeitsgruppe von Francesco Mauri an der Université Pierre et Marie Curie in Paris explizite analytische Ausdrücke für die Berechnung des g-Tensors abgeleitet [4] und in eines der weltweit führenden Dichtefunktionalprogramme – QUANTUM ESPRESSO – implementiert [5]. Damit wurden die numerischen Simulationswerkzeuge geschaffen, um die Fragen nach dem mikroskopischen Ursprung der in den Siliziumheterosolarzellen gemessenen Spinresonanzen zu beantworten: Dichtefunktionalrechnungen liefern unmittelbar die Gesamtenergie vorgegebener Atomkonfigurationen und erlauben es daher, von mehreren möglichen strukturellen Anordnungen die energetisch günstigste zu bestimmen. Darüber hinaus

| Defekt | Methode    | $g_{11}$ | $g_{22}$ | $g_{33}$ | Orientierung bzgl. [111] |
|--------|------------|----------|----------|----------|--------------------------|
| cbt    | Theorie    | 2,005    | 2,005    | 2,004    | isotrop                  |
|        | Experiment | 2,004    | 2,004    | 2,004    | isotrop                  |
| db     | Theorie    | 2,008    | 2,009    | 2,002    | anisotrop, $2^\circ$     |
|        | Experiment | 2,008    | 2,008    | 2,001    | anisotrop, $0^\circ$     |
| db'    | Theorie    | 2,008    | 2,009    | 2,002    | anisotrop, $110^\circ$   |
|        | Experiment | 2,008    | 2,008    | 2,001    | anisotrop, $106^\circ$   |

Quelle: Ref. [3]

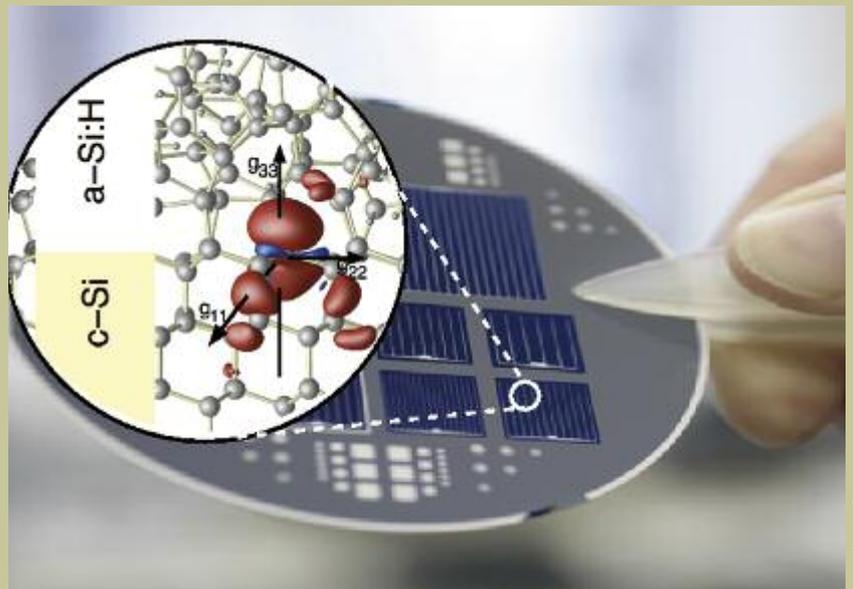
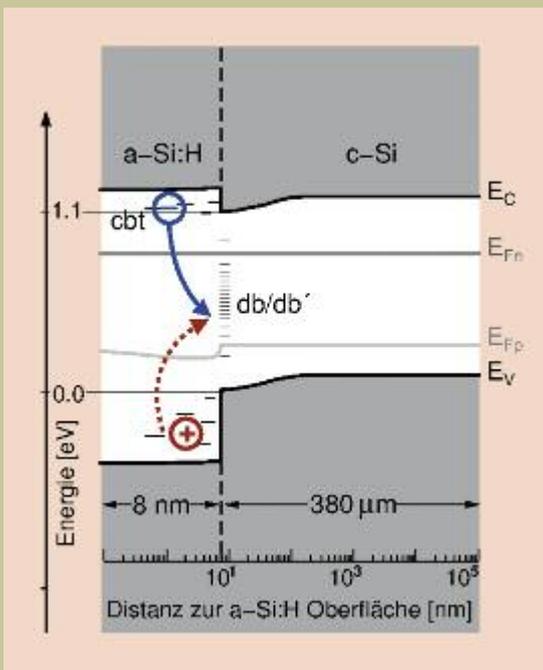
Tab. 1: Vergleich gemessener mit den für die in Abb. 4 gezeigten Grenzflächendefekte berechneten g-Tensoren sowie deren Orientierung in Bezug auf die Si[111]-Richtung der c-Si/a-Si:H Grenzschicht.

kann die Geometrie einer vorgegebenen Anordnung energetisch optimiert werden; d. h., es werden die Atome so lange verschoben, bis die auf sie wirkenden Kräfte verschwinden und ein Minimum der Energie gefunden ist. Auf diese Weise ist es möglich, die energetisch besonders vorteilhaften, und daher besonders häufig vorkommenden lokalen atomaren Strukturen der a-Si:H/c-Si-Grenzfläche einer Siliziumheterosolarzelle zu bestimmen. In einem darauffolgenden Schritt wird dann die Magnetisierungsdichte zu dieser Struktur bestimmt (siehe Abbildung 4) und zur Simulation von g-Tensoren benutzt. Da es sich bei dem untersuchten System um die Grenzfläche zwischen einem amorphen und einem kristallinen Material handelt, sind jedoch zum einen sehr viele Konfigurationen denkbar und müssen systematisch untersucht werden. Zum anderen erfordert die Beschreibung des amorphen Materials, bei dem die Silizium- und Wasserstoff-Atome nur ein unregelmäßiges Muster bilden und lediglich über Nahordnung, nicht aber über Fernordnung verfügen, sehr große Simulationszellen. Die Berechnung möglicher Strukturmodelle der a-Si:H/c-Si-Grenzfläche erfordert daher eine besonders leistungsfähige Parallelrechenstechnik. Diese steht im Paderborner Rechenzentrum PC<sup>2</sup> in Form des OCuLUS-Clusters mit mehr als 10 000 Prozessorkernen und einer Peak-Performance von 200 Teraflops zur Verfügung.

**Rekombinationsprozesse an der Grenzfläche**

In Abbildung 4 sind berechnete atomare Strukturen an der Grenzfläche von kristallinem und amorphem Silizium dargestellt, die nicht nur energetisch günstig sind, sondern auch – wie im folgen-

den gezeigt wird – die gemessenen magnetischen Signaturen erklären können. Rote und blaue Ladungsdichtewolken zeigen dabei die Magnetisierungsdichte ungepaarter, defektlokalisierter Elektronen. Ebenfalls angedeutet sind die Hauptachsen der jeweiligen berechneten g-Tensoren, die in Tab. 1 mit den experimentell bestimmten Werten verglichen werden. Offensichtlich lassen sich die gemessenen Signale eindeutig den drei gezeigten Defektstrukturen zuordnen (Tabelle 1). Experimentell wurde insbesondere nachgewiesen, dass die Spinresonanzsignale der cbt- und db-/db'-Defekte mit dem Photostrom ansteigen, was deren unmittelbare Beteiligung am Rekombinationsprozess belegt. Somit wurden zwei unterschiedliche Arten von Grenzflächendefekten gefunden: Während eine Art von Defekten (cbt) eher schwach lokalisiert in der amorphen Schicht sitzt, befindet sich die zweite Defektspezies (db, db') in der Kristall-Matrix direkt an der Grenzfläche. Das Kürzel db steht dabei für dangling bond (engl. hängende Bindung). Ein normalerweise vierfach koordiniertes Si-Atom besitzt hier nur drei Bindungspartner. Eine Bindung bleibt frei und hängt quasi in der Luft. Das zugehörige Orbital ist mit nur einem Elektron also nur halb besetzt und wirkt als parasitäres Rekombinationszentrum. Die energetische Lage dieser Defekte in Bezug auf die Valenz- und Leitungsbandkanten an der a-Si:H/c-Si-Grenzfläche ist in Abbildung 5 schematisch gezeigt. Ebenfalls in Abbildung 5 angedeutet ist der an der Grenzfläche ablaufende Rekombinationsprozess: Ein optisch angeregtes Elektron lokalisiert zunächst in einem cbt-Defektzustand der amorphen Siliziumschicht bevor es in die Grenzflächendefekte db bzw. db' tunnelt und dort



Quelle: Ref. [3]

Abb. 5: Schematische Darstellung der cbt- und db/db'-Grenzflächendefekte im Energiediagramm der a-Si:H/c-Si-Grenzfläche (links) simuliert für die untersuchte Miniatur-Solarzelle (rechts).  $E_C$ ,  $E_V$ ,  $E_{Fn}$  und  $E_{Fp}$  bezeichnen dabei die Lage von Leitungs- und Valenzband sowie die Fermi-Niveaus für Elektronen und Löcher an den Kontakten. Mit Pfeilen ist der Rekombinationsprozess angedeutet, siehe Text.

mit einem Loch zerstrahlt. Obwohl der delokalisierte cbt-Defektzustand am Rekombinationsprozess beteiligt ist, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass er sich insgesamt negativ auf den Wirkungsgrad auswirkt. So gibt es Hinweise, dass diese Art von delokalisierten Grenzflächenzuständen eine wichtige Rolle bei der Ladungsträgerseparation an der c-Si/a-Si:H Grenzfläche spielt. Die Rolle der lokalisierten db/db' Zentren ist dagegen eindeutig wirkungsgradbegrenzend. Offen ist jedoch noch die Frage, ob sich dabei einer der Defekttypen stärker auswirkt als der andere. Wäre dies der Fall, so könnte man durch gezielte Anpassung der Depositionsbedingungen den schwächer parasitären Defekt gezielt präparieren und so die Effizienz der Siliziumheterosolarzelle verbessern. Durch die Kombination von hochauflösender elektrisch detektierter Elektronenspinresonanz mit parameterfreien, quantenmechanischen Materialsimulationen ist es somit möglich, parasitäre Grenzflächendefekte an Siliziumhochleistungssolarzellen nachzuweisen, auf atomarer Skala zu charakterisieren und deren Verknüpfung mit wirkungsgradbegrenzenden Rekombinationsprozessen aufzuzeigen. Damit ist es erstmals gelungen Prozesse die den Wirkungsgrad in einer Vielzahl von Silizium-Solarzellen mindern, direkt zu detektieren und mit atomarer Auflösung darzustellen. Das so gewonnene, mikroskopische Verständnis der Rolle von Grenzflächendefekten für die Produktion effizienterer Solarzellen-Module nutzbar zu machen bleibt eine spannende Aufgabe, nicht nur für die Paderborner Arbeits-

gruppe Schmidt. Die in diesem Artikel diskutierten Solarzellen wurden am Helmholtz-Zentrum Berlin hergestellt und auch dort vermessen. Die theoretischen Methoden wurden an der Universität Paderborn entwickelt und in numerischen Simulationen im Paderborner PC<sup>2</sup> eingesetzt.

### Quellen

- [1] AKTUELLE FAKTEN ZUR PHOTOVOLTAIK IN DEUTSCHLAND, HERAUSGEGEBEN VON H. WIRTH, FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE (2015).
- [2] K. MASUKO, M. SHIGEMATSU, T. HASHIGUCHI, D. FUJISHIMA, M. KAI, N. YOSHIMURA, T. YAMAGUCHI, Y. ICHIHASHI, T. YAMANISHI, T. TAKAHAMA, M. TAGUCHI, E. MARUYAMA UND S. OKAMOTO, ACHIEVEMENT OF MORE THAN 25 % CONVERSION EFFICIENCY WITH CRYSTALLINE SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELL, IN PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC), 40TH IEEE (2014).
- [3] B.M. GEORGE, J. BEHREND, A. SCHNEGG, T.F. SCHULZE, M. FEHR, L. KORTE, B. RECH, K. LIPS, M. ROHRMÜLLER, E. RAULS, W.G. SCHMIDT UND U. GERSTMANN, ATOMIC STRUCTURE OF INTERFACE STATES IN SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELLS, PHYS. REV. LETT. 110, 136803 (2013).
- [4] D. CERESOLI, U. GERSTMANN, A. P. SEITSONEN, UND F. MAURI, FIRST-PRINCIPLES THEORY OF ORBITAL MAGNETIZATION, PHYS. REV. B 81, 060409(R) (2010).

[5] P. GIANNOZZI, U. GERSTMANN, ET. AL., QUANTUM ESPRESSO: A MODULAR AND OPEN-SOURCE SOFTWARE PROJECT FOR QUANTUM SIMULATIONS OF MATERIALS, J. PHYS. CONDENS. MATTER 21, 395502 (2009).



**Dr. Uwe Gerstmann** ist seit 2010 als Akademischer Rat Mitglied der Arbeitsgruppe für Theoretische Materialphysik an der Universität Paderborn. Seine Forschungsinteressen betreffen vor allem Störstellen und Defekte in Halbleitern und die Berechnung relativistischer Effekte in der Elektronenstruktur von Halbleitern und Metallen.

**Kontakt**

**Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt**

**Fakultät für Naturwissenschaft**

**Theoretische Physik**

**05251 60-2335**

**W.G.Schmidt@upb.de**

# Medienkulturen des Kleinen

*Warum es lohnt, sich mit Reiskörnern und Blütenstaub, Notizen, Zetteln und Zellen zu beschäftigen*

Von Claudia Öhlschläger  
und Sabiene Autsch



**Prof. Dr. Sabiene Autsch** ist Professorin für Kunstgeschichte und ihre Didaktik mit dem Schwerpunkt 20. Jahrhundert und Gegenwartskunst in Paderborn. Sie hat eigene Ausstellungen und kuratorische Projekte seit 1995 im In- und Ausland realisiert. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Theorie der Ausstellung, Geschichte und Ästhetik der Documenta, Räume in der Kunst, Künstlerateliers, Kunst und Kulinarik, Modelle und Miniaturen in der zeitgenössischen Kunst. Aktuell arbeitet sie zum Thema „Materialhandlungen“ als Vorbereitung einer größeren Publikation sowie zu „Artistic Research“.



**Prof. Dr. Claudia Öhlschläger** ist seit 2004 Professorin für Vergleichende Literaturwissenschaft und Intermedialität in Paderborn. Sie hat u. a. zur europäischen Avantgarde, zur Kunsttheorie, Ästhetik und Literatur, zum Œuvre W.G. Sebalds, zu Fragen des kulturellen Gedächtnisses und zu kleinen Formen in der Literatur publiziert. Gegenwärtig arbeitet sie an der Herausgabe eines Handbuchs zu W.G. Sebald und im Rahmen der Vorbereitung eines Graduiertenkollegs „Gattung und Geschlecht: Genres performing Gender – Gender doing Genres (1500–2000)“ zum literarischen Tagebuch als kleiner Form.

Unter dem Eindruck von Schnellebigkeit, Beschleunigung und Zeitknappheit, wodurch das Leben in globalen Welten gegenwärtig seine zeitspezifische Signatur als „Unruhekultur“ erhält (Konersmann 2015), gewinnen aus kulturwissenschaftlicher Perspektive insbesondere jene Techniken und Praktiken an Bedeutung, die zur Prägung und Herausbildung entsprechend kleiner, kurzer und knapper Formen und verdichteter Formate beitragen. Sie werden für die Literaturwissenschaften ebenso relevant wie für die Kunstwissenschaft, Bildende Kunst und die Medienwissenschaften. Das an der Universität Paderborn initiierte interdisziplinäre Forschungsvorhaben „Medienkulturen des Kleinen“ fragt nach literarischen, künstlerischen, materiellen und medialen Mikrostrukturen und Miniaturisierungen. Übergeordnetes Ziel ist es, die Kreativität und Produktivität kleiner Formen in den Blick zu nehmen, aber auch nach deren Gefü-

**gigkeit oder Widerspenstigkeit für Prozesse kultureller Sinnstiftung zu fragen.**

Was können wir aus Fragmenten und Details, aus mikroskopischen Betrachtungen und Nanostrukturen für die Beschreibung großer Zusammenhänge lernen? Der Gegenstandsbereich des Forschungsprojekts umfasst die Populärkultur des 20. und 21. Jahrhunderts ebenso wie die Hochkultur dieses Zeitraums, woraus gattungsspezifische und methodische Überlegungen resultieren, die in diesem interdisziplinären Verbund erarbeitet werden. Eine Funktionsbestimmung kleiner Phänomene erscheint umso dringlicher, als sich die Frage nach deren Anpassungs-, aber auch Störungspotenzial aufdrängt: Eignet Miniaturformaten in Literatur, Kunst, Medien und Film eine kulturkritische, eine diagnostische Funktion? Oder fügen sie sich vielmehr den Anforderungen des Austauschbaren und Flüchtigen?



Quelle: Fotolia.com (Julien Ehrhinger)

Abb. 1: Ai WeiWei, Sunflower Seeds (2010), Installation View, Tate Modern London.

### Das Kleine – Thema und Kontexte

Im Zuge der globalen informationstechnologischen Bereitstellung und Zirkulation von Wissen entstehen neue medienkulturelle Praktiken, Formate und Kompetenzen, die sich durch Knappheit, Verdichtung, Fragmentierung und Kürze auszeichnen. Solche Phänomene des Kleinen begegnen uns im Zusammenhang der medial geprägten Populärkultur, aber auch dort, wo Randständiges, Marginales, Rudimentäres als Teil der modernen Konsum- und Massenkultur politisch und ästhetisch aufgewertet wird: Man denke etwa an literarische Mikroformate, an künstlerische Miniaturen und raumfüllende Materialinstallationen (Abbildung 1), an Web-Serien in Kurz- und Kürzestformaten, an Handy-Videos, „Selfies“, Tweets, Micro-Blogs, Musikvideos, Werbespots, virale Clips oder animierte Gifs. Das überregionale Forscherteam, bestehend aus Vertretern der Literaturwissenschaft, Kunstgeschichte und Medienwissenschaften, nimmt die materielle, mediale und ästhetische Beschaffenheit und Funktion dieser sich rasant entwickelnden „Medienkulturen des Kleinen“ genauer in den Blick. Aus der jeweiligen disziplinären Perspektive werden Phänomene der Kleinheit kategorial bestimmt und in den jeweiligen Kontexten der Wissensbildung und Sinnstiftung analysiert. Erkenntnisleitend ist die Frage nach dem Spannungsverhältnis von Anpassung und Störung: Inwiefern passt sich das Kleine in die moderne Medienkultur ein, inwieweit wirkt es aber auch subversiv, indem es konventionelle

Muster der Wissensanordnung und Sinnstiftung durchkreuzt? Kleine Formen markieren das, was man gegenwärtig in den Kulturwissenschaften mit dem Begriff „ästhetische Eigenzeiten“ umschreibt: Sie generieren durch das ihnen eigene Paradox, Zeit gleichermaßen zu beschleunigen wie still zu stellen, neue Formen der Darstellbarkeit und Erzählbarkeit. Sie überschreiten damit immer wieder aufs Neue herkömmliche Erzählmuster und bringen Beschleunigung und Entschleunigung in ein produktives Spannungsverhältnis.

Seit der Frühromantik schon bildet sich eine Ästhetik des Kleinen heraus, die sich der Geschlossenheit großer Formen widersetzt und stattdessen auf Offenheit und Fragmentarität setzt. In der Moderne lässt sich die Emphase für kleine Formate als Symptom einer Kulturkritik lesen, die sich insbesondere in der philosophischen und feuilletonistischen Essayistik des 20. Jahrhunderts sowie in der Literatur und in den Künsten der ästhetischen Avantgarde z. B. als Readymade, Collage oder Montage abbildet. Die gegenwärtige Alltags- und Medienkultur ist immer stärker durch einen pragmatischen Verwendungszusammenhang von Bild- und Text-Konstellationen gekennzeichnet: Die Welt scheint unendlich reproduzierbar und kleine Formen unterliegen als Indikatoren des Momenthaften, Ereignishaften und des Plötzlichen einem ständigen Wandel. Sie reagieren nicht nur schnell auf kulturelle Transformationsprozesse, sondern bringen diese auch hervor und visualisieren sie. Zugleich öffnen sie

Die Regenwolken hatten sich verzogen, als ich nach dem Nachtessen einen ersten Rundgang machte durch die Straßen und Gassen der Stadt. Schon begann es duster zu werden zwischen den Zeilen der Ziegelhäuser. Einzig der Leuchtturm mit seiner funkelnden



93

*Bildunterschrift: W.G. Sebalds Romane und Erzählungen sind dafür bekannt, von Schwarz-Weiß-Fotografien, deren Herkunft unbekannt bleibt und die zuweilen unscharf gestellt sind, im Fließtext immer wieder unterbrochen zu werden. Für Sebald besitzen diese Fotografien eine Appellfunktion, sie fordern die Leser auf, das Gesehene auszudeuten. Als ‚Inseln‘ visuell erzeugter Wirklichkeit geraten sie in Spannung zu der im Text entworfenen Realität, die zugleich Fiktion ist.*

Abb. 2: Auszug aus: W.G. Sebald, Die Ringe des Saturn, Frankfurt/Main<sup>6</sup>2002, S. 93. Auszug aus: W.G. Sebald.

sich dem öffentlichen Gebrauch und den Formen der Wiederaneignung. Kleine Formen könnte man deshalb als Bewegungsfiguren verstehen, die Prozesse des Cross-over, der Überlagerung und Transformation auslösen und Konstellationen ausbilden.

### **Kleine Formen in Medien, Kunst und Literatur**

In unserer von Zeiteffizienz und Zeitmanagement/-ökonomie beherrschten Gegenwart, die spätestens seit Hartmut Rosas wegweisender Studie (Rosa 2005) Beschleunigung als ein prominentes, schon fast zum Mythos avanciertes Selbstbeschreibungsmotiv nutzt, erscheint Kürze als kommunikativer Imperativ: Die sich (angeblich) verringere Aufmerksamkeitsspanne der „User“, die Vorgaben der neuen Formate und Techniken (von der SMS über die E-Mail, von Twitter und YouTube bis zu WhatsApp), werden als mögliche Ursachen für die Maxime der Zeit- und Zeichen-Effizienz genannt. Kurze Mitteilungen, portioniert in kleine und kleinste Informationseinheiten, scheinen heute besonders leserfreundlich und attraktiv. Aus medienwissenschaftlicher Perspektive lässt sich beobachten, dass die jüngsten Informations- und Kommunikationsformate und die von ihnen induzierten Regularitäten bezüglich Quantität und Qualität der Mitteilungen nicht nur auf stilistische Gepflogenheiten der Benutzer zurückwirken, sondern auch künstlerische Formen beeinflussen oder überhaupt erst hervorbringen. Filmische Formen unterliegen längst nicht mehr den medialen Bedingungen des Kinoraums; sie erstrecken sich auf mobile Bildschirme und

Betrachter, finden neue Orte und Verortungen. Handy-Filme mit zeitlich begrenzter Aufnahmedauer beispielsweise zeigen, dass die Vorstellung der großen Dramaturgie, die den abendfüllenden Langfilm geprägt und durchgesetzt hat, durchkreuzt wird von einer neuen Logik der Kürze und Praxis der „Short Cuts“. Handy-Filme als dezidiert digitale filmische Praxis beginnen das Kleine als eigene Grundform sichtbar und produktiv zu machen. Welche Rolle spielen solche medientechnologischen Innovationen für die Hervorbringung neuer literarischer Formate wie beispielsweise das „Handy-Haiku“? Und wie wirken diese neuen literarischen Formate zurück auf sich ausbildende Handlungskompetenzen der Rezipienten, indem sie gewissermaßen Hand und Auge miteinander verschalten?

Welche Funktion übernehmen die gerade in der jüngeren Romanliteratur zu beobachtenden implantierten kleinen Formen, aber auch Bildfragmente, die wie Inseln in einen großen Erzählzusammenhang eingelassen sind und den Lesefluss hemmen? Gleichzeitig öffnen sie aber auch intertextuelle Echoräume, lenken den Blick auf die Materialität und Medialität der Schrift, markieren den plötzlichen Einfall/Zu-Fall eines Gedankens oder einer sinnlichen Wahrnehmung, gewähren Einblick in ein Denken, das seine eigene Zeit hat und von der erzählten Zeit abweicht. Wie kommt es, dass Prosaminiaturen, die sich im Extremfall auf einen Satz beschränken, für sich den Anspruch erheben, Geschichten zu erzählen? Welche neuen, an informationstechnologischen Kürzestmaximen orientierten Muster des Erzählens finden Eingang



Abb. 3: Das „Brain“, Museum Fridericianum, Documenta 13 (2012).

Quelle: Documenta 13 (2012)

in den literaturwissenschaftlichen Kanon (Abbildung 2).

Dass Zeitökonomien, Kürze und Pointierung, Mikroutopien und Miniaturen in kreative Prozesse einfließen und zu Bestandteilen der visuellen und materiellen Form des Kunstwerks werden, zeigen künstlerische Arbeiten und kuratorische Konzepte des 20. und 21. Jahrhunderts. Die an Collage und Montage gebundene mikrologische Praxis, geleitet von Zufälligkeit und Spontaneität, setzt auf Bildpartikel und bejaht damit das Fragmentarische. Mit der Collage als „offene“ Gestaltung verlagert sich außerdem der Blick von der Ganzheit und Totalität des vollendeten Werks auf den Prozess der Formwerdung. Daraus resultierende ästhetische Formprinzipien wie Wiederholung, Reihung oder Serialität finden sich im expositorischen Kontext in spezifischen Schauanordnungen wieder. Die aktuell im globalen Kunstfeld zu beobachtenden Überschreitungen, Vermischungen und Verschiebungen von Räumen, Materialien, Formen und Gattungen erzeugen jene Cross-over-Beziehungen und passageren Zwischenräume, in denen die Produktion, Distribution und Rezeption von Kunst (neu) konfiguriert wird. Installative Formate, serielle Schauanordnungen und die Tendenz zur „Assemblierung“ haben neue Konstellationen von Zeit, Raum, Werk und Betrachter hervorgebracht und damit verbundene Fragen nach „narrativer Verdichtung“ einerseits, und einem erweiterten Verständnis von Repräsentation andererseits, aufgeworfen.

Raum- und Zeitverschiebungen, wie sie beispielsweise im kuratorischen Denken der künstlerischen

Leiterin der Großkunstausstellung Documenta 13 (2012), Carolyn Christov-Barkagiev, als „Möglichkeit“ und „mäandernde visuelle Assoziationen“ postuliert wurden, machen zugleich auf neue Ansätze in der ästhetischen Choreografie aufmerksam, die Orientierung, Teilhabe und Gestaltung an/von Lebenswirklichkeit liefern sollen. Das sogenannte „Brain“, ein kleines Ritardando installiert im Hauptgebäude des Museum Fridericianum, fungiert seit der ersten Documenta von 1955 als „konzeptionelle Schaltzentrale“ (Abbildung 3). Die Kurzfassung und Zusammenschau der kuratorischen Impulse und Diskurse wurde auf der Documenta 13 durch eine Fülle an kleinteiligen Dingen und heterogenen Objekten repräsentiert, wodurch der Eindruck einer Wunderkammer entstand: Baktrische Prinzessinnen, eine Fotografie von Lee Miller, sitzend in Hitlers Badewanne nach Kriegsende, Morandis Flaschen oder Zeichnungen von einer Vietcong-Künstlerin von 1969 – im „Brain“ versammelt sind zeitversetzte, zugleich aufeinander verweisende Elemente in Form einer vernetzten Ansammlung. Alles steht mit allem in Verbindung und erzeugt in diesem Schaumodell Verhältnisse, die letztlich immer auch Kunst behandeln bzw. von Kunst handeln. In biografischen Erinnerungs-Depots, wie z. B. von der 1929 geborenen Ida Applebroog, in denen die Künstlerin ihre Publikation „Scripts“, ein Faksimile von Ausschnitten aus ihrem privaten Notizbuch, veröffentlichte und als Erzählfragmente im Ausstellungsraum positionierte, wurden erfahrbare Konstellationen von Illusion und Wirklichkeit, Gegenwart und Vergangenheit narrativ

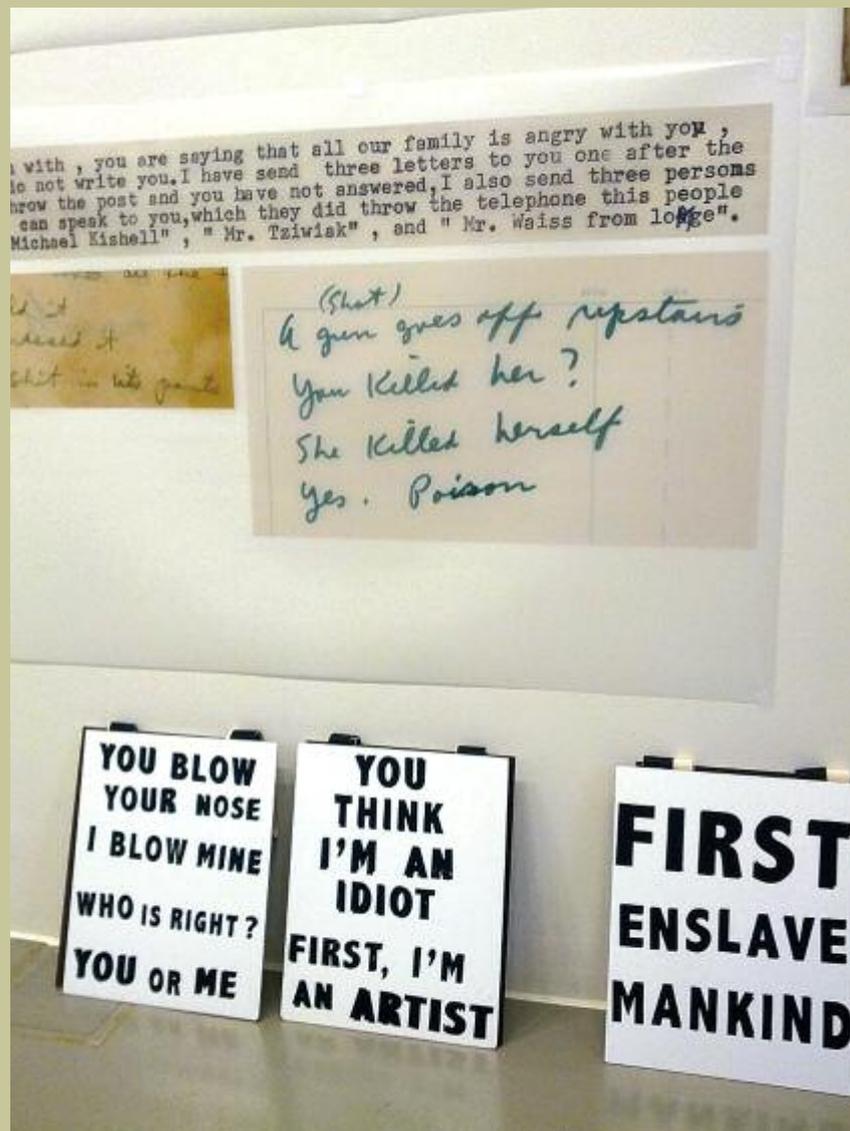


Abb. 4: Ida Applebroog, *I see by your Fingernails that you are my Brother* (2012), Installation View, Museum Fridericianum, Documenta 13 (2012).

Quelle: Museum Fridericianum, Documenta 13 (2012)

und visuell inszeniert (Abbildung 4). Wie aber schreiben sich ephemere Materialien, Alltagsdinge, flüchtige Ereignisse der erlebten Realität in Kunstwerke ein? Inwiefern stellen aktuelle kollaborative Praktiken und installative Tendenzen und Ausdrucksformen die Frage nach einer gesteigerten Zeit- und Aufmerksamkeitsökonomie zur Disposition? Welche kulturkritische und diagnostische Funktion übernehmen dabei besonders ästhetische Miniaturformate im Kontext global zirkulierender Biennalen und Großkunstausstellungen? Das „Spiel mit der Maßstäblichkeit“ besitzt dabei auch eine grundlegende wirkungs- und rezeptionsästhetische Funktion, die erstmals in den Blick genommen werden soll und zur Profilierung des Verhältnisses von Kunst und Erfahrung, aber auch von Zeige- und Schaupraktiken beitragen kann. Eine Hypothese zur Funktionsbestimmung kleiner Formate in den Künsten lautet, dass Modelle und Miniaturen als Schwellenphänomene betrachtet werden können, die

dazu beitragen, Erfahrungen der Beschleunigung am Ort und vor bzw. mit dem Gegenstand erfahrbar zu machen – auch, indem sie ein paradoxes Spiel von Zeigen, Schauen und Sichtbarkeitsentzug in Szene setzen. Künstlerische Miniaturen und Modelle, die das Verhältnis zwischen der an eine Öffentlichkeit adressierten Repräsentanz und der ästhetischen Präsenz des künstlerischen Materials in den Blick nehmen, weisen oftmals Struktur analogien zu textuellen Schauanordnungen von Schriftbildlichkeit auf.

Die Literatur der Moderne und Nachmoderne experimentiert mit der Anordnung von Wortmaterial (Montage, Collage), mit dem Schreibgerät (Bleistift, Feder, Kugelschreiber, Tastatur), der Formgebung des Schreibmaterials (etwa durch Schnitte, Fragmentierung) und der Form der Erzählung. An die Stelle der linearen Struktur des klassischen Romans treten narrative Strategien der Serialität, Zirkulation, Kombinatorik, Fragmen-



Quelle: Karsten Bott

Abb. 5: Karsten Bott, Von Jedem Eins (1993), Installation View, Offenes Kulturhaus Linz.

tierung und Kontextualisierung. Gerade hier zeichnet sich ab, dass Formen der massenmedialen Informationstechnologie Modelle literarischen Schreibens nachhaltig verändern und prägen, dass aber auch umgekehrt das System Literatur kleine Formen der Darstellbarkeit und Erzählbarkeit von Leben ausbildet. Kleine literarische Formate – sie reichen vom Aphorismus über den Witz, von der Anekdote bis zur Erzählung in einem Satz (Microrrelatos) – bilden ein gewisses Potenzial an Widerständigkeit aus, indem sie Sinn stiftende, kausale Erzählzusammenhänge zugunsten von Augenblickskonstellationen und ereignishaften Segmenten durchkreuzen. Verfahren der Serialisierung und Konstellierung lassen sich wiederum als Ergebnisse eines medienkulturellen Transformationsprozesses der Moderne lesen, der vorführt, dass in der kleinsten Veränderung und Abweichung der Keim zu einer Neuordnung und Umdeutung der Verhältnisse liegen kann.

Das Kleine denken, archivieren, schreiben, zeigen – Erscheinungsweisen des Kleinen, des Randständigen, Marginalen und Rudimentären, Mikroskopischen und begegnen uns abhängig von den Kulturen, die wir historisch betrachten, schon

seit vielen Jahrhunderten. Programmatische Äußerungen allerdings, theoretische Reflexionen und Standortbestimmungen, die kleine Phänomene, Formate und Formen aufwerten und ihnen eine besondere Signifikanz zusprechen, treten erst im Zuge von Modernisierungsprozessen seit der Frühen Neuzeit auf. Für diese Entwicklung sind zum einen naturwissenschaftliche Paradigmen der Weltbetrachtung verantwortlich: Hier kommt dem mikroskopischen Blick eine besondere Bedeutung zu. Zum anderen etabliert sich im späten 19. Jahrhundert in den Humanwissenschaften das, was Carlo Ginzburg „Indizienparadigma“ genannt hat: Eine sich, wie Ginzburg am Beispiel der Kunstgeschichte, der Kriminalistik und der Psychoanalyse zeigt, herausbildende Epistemologie der Spurensuche, für die das kleinste Faktum, das Detail wichtig werden. Im 20. und 21. Jahrhundert schließlich befördern mehrere Faktoren den Bedeutungszuwachs des Kleinen, so dass es legitim ist, von sich entwickelnden „Kulturen des Kleinen“ zu sprechen: Eine sich im Zuge alltags-(pop-)kultureller Entwicklungen etablierende Trivialästhetik wertet subjektive Handlungsfelder und private Objektbereiche auf, die für Literatur, Kunst

und Medien gleichermaßen bedeutend werden (Abbildung 5).

Kleine Dinge, die in der Alltagspragmatik beheimatet sind, gewinnen ebenso an Relevanz wie eine ästhetische Modellierung des Kleinen, die mit oftmals sprunghaft sich vollziehenden Transformationsprozessen innerhalb der Wahrnehmungs-, Informations- und Kommunikationskultur korreliert. Folgende Leitfragen ergeben sich aus diesem Befund: In welcher Weise disponieren Mikroformate unsere Wahrnehmungseinstellungen und Realitätsentwürfe, inwiefern prägen sie nicht nur spezifische Sehkulturen, Mentalitäten, Erfahrungs- und Erinnerungsentwürfe? Inwieweit bildet das Kleine, seine Darstellung und Verhandlung, neue sozio-ökonomische und kulturell-ästhetische Maßstäbe aus, die auf soziale Interaktionen zurückwirken oder möglicherweise neue Vorstellungen von Bildung, Leben und Wissen generieren? Globalisierung und Digitalisierung von Lebenswelten setzen Prozesse der Komplexitätssteigerung in Gang, die paradoxerweise Verfahren der Komplexitätsreduktion, der Zerkleinerung, Fragmentierung, Komprimierung und Hybridisierung auf den Plan rufen. Die Cultural Studies und die Visual Studies greifen solche Tendenzen auf und formulieren neue Standards wissenschaftlicher Wertigkeiten. Neuere und aktuelle kulturgeschichtliche Studien diskutieren beispielsweise Austauschbeziehungen zwischen Dingen, Materialien und Menschen unter dem Aspekt performativer Transformationsprozesse und des Cross-over. Und schließlich leben wir in einem Zeitalter der zunehmenden Dynamisierung und Ökonomisierung von Zeit, wobei die Spannbreite dieser Erfahrung vom Eindruck der Beschleunigung bis hin zu Phänomenen der „langen Dauer“, vom modernen Augenblicks- und Plötzlichkeitsdispositiv bis hin zu imaginär oder auch virtuell erlebten Situationen der Zeitdehnung reicht. Kleine Formen, die auf Kürze, Komprimierung und Konkretion abgestellt sind, reagieren auf solche Dynamisierungsprozesse, wobei sich auch hier Paradoxien erkennen lassen: Das, was formal der Flüchtigkeit des Augenblicks geschuldet ist und beschleunigtes Zeiterleben in ein entsprechendes Format bringt, erweist sich zugleich als „kleines“ Archiv polychroner Zeiterfahrung: Vielleicht wurde die unumgängliche Differenz zwischen der Präsenz, der Gegenwärtigkeit des Augenblicks und seiner gleichzeitigen Flüchtigkeit und Unverfügbarkeit nie deutlicher erlebt als im Zeitalter einer enormen Informationskumulation und -dichte sowie den technologisch scheinbar grenzenlos möglichen Zugriffen darauf.

#### **Fazit und Ausblick**

Eine Theorie des Kleinen lässt sich in einem defini-

torischen Sinn nicht formulieren. Gleichwohl erlaubt es die interdisziplinäre Betrachtung und Analyse narrativer, visueller und medialer Mikroformate, methodische Leitlinien herauszuarbeiten, um eine quantitative und qualitative Funktionsbestimmung des Kleinen vorzunehmen. So konnte in den inzwischen erschienenen Forschungsbeiträgen des Forscherteams gezeigt werden, dass das Kleine ungeachtet formaler Eigenschaften wie Reduktion, Konzentration und Verdichtung immer auch Verfahren der Entfaltung und Ausdehnung in Gang setzt. Die Bestandsaufnahme einer Phänomenologie des Kleinen zieht zunächst Deskriptionsverfahren nach sich, analytische Perspektiven ergeben sich insbesondere dort, wo es um das Konkretions-, Verfremdungs- und Transformationspotenzial des Kleinen geht: Kleine Formen zeigen ihre Kontur, ihr Profil im Kontext; eine Mikrostruktur evoziert stets ihren Makrokosmos. So hat man beispielsweise Mikroerzählungen mit fractal patterns verglichen, insofern sich in ihnen Strukturen und Muster auffinden lassen bzw. abzeichnen, die wie im Fall der *mise en abyme* Verborgenes sichtbar machen, das Große im Kleinen unter anderen Vorzeichen figurieren. Da kleine Formen und Formate die Grenze zwischen Sagbarem und Zeigbarem thematisieren und ausloten, eignet ihnen eine oszillierende, Konstellationen ausbildende und kombinatorische Qualität, die eindimensionalen Lesarten widersteht und modellbildend wirken und werden kann: Der Modellcharakter kleiner Formen verwirklicht sich in der Eröffnung von Möglichkeitssinn, denn er suggeriert dort Präsenz, wo er diese abzieht und stellt dort Verfügbarkeit in Aussicht, wo diese sich entzieht. Das von Prof. Dr. Claudia Öhlschläger (Komparatistik) und Prof. Dr. Sabiene Autsch (Kunstgeschichte) initiierte überregionale Forscherteam befasst sich seit April 2013 mit dem Thema „Medienkulturen des Kleinen“. Aus einer internationalen Tagung zum Thema an der Universität Paderborn im April 2013 ist ein Tagungsband hervorgegangen, der erste grundlegende Thesen und Überlegungen dokumentiert. Ein zweites Band mit Detailanalysen befindet sich in Vorbereitung. Er wird 2016/17 unter dem Titel „Konstellationen des Kleinen“ erscheinen. Diskutiert werden soll auch in zukünftigen Workshops das transformative Potenzial und die transgressive Energie und vielschichtige Integrierbarkeit kleiner Formen und Formate in immer wieder andere, wechselnde Kontexte, kulturelle Umgebungen und ästhetische Anordnungen. Ziel ist es, einen methodischen Denk- und Deutungsrahmen zu entwickeln, der Aufschlüsse geben kann über das noch nicht erforschte Zusammenwirken von literarischer, künstlerischer Produktion und medialen Veränderungsprozessen.

## Literatur

AUTSCH, SABIENE; ÖHLSCHLÄGER, CLAUDIA; SÜWOLTO, LEONIE (HRSG.): KULTUREN DES KLEINEN. MIKROFORMATE IN LITERATUR, KUNST UND MEDIEN. PADERBORN 2014.

AUTSCH, SABIENE; ÖHLSCHLÄGER, CLAUDIA: SCHAUANORDNUNGEN DES KLEINEN IN KUNST UND LITERATUR, IN: KRITISCHE BERICHTE – ZEITSCHRIFT FÜR KUNST- UND KULTURWISSENSCHAFTEN, JG. 43, HEFT 1 (2015), S. 92–112.

ETTE, OTTMAR (HRSG): NANOPHILOLOGIE. LITERARISCHE KURZ- UND KÜRZESTFORMEN IN DER ROMANIA. TÜBINGEN 2008.

KONERSMANN, RALF: DIE UNRUHE DER WELT. FRANKFURT/MAIN 2015.

GINZBURG, CARLO: SPURENSICHERUNG. DIE WISSENSCHAFT AUF DER SUCHE NACH SICH SELBST. AUS DEM ITALIENISCHEN VON GISELA BONZ UND KARL F. HAUBER. BERLIN 2002.

ROSA, HARTMUT: BESCHLEUNIGUNG. DIE VERÄNDERUNG DER ZEITSTRUKTUREN IN DER MODERNE. FRANKFURT/MAIN 2005.

SCHÄFFNER, WOLFGANG; WEIGEL, SIGRID; MACHO, THOMAS (HRSG.): DER LIEBE GOTT STECKT IM DETAIL. MIKROSTRUKTUREN DES WISSENS. MÜNCHEN 2003.

SCHMIDT, EVA: WAS MODELLE KÖNNEN. [PUBLIKATION ZUR GLEICHNAMIGEN AUSSTELLUNG IM MUSEUM FÜR GEGENWARTSKUNST SIEGEN, 29. JUNI BIS 12. OKTOBER 2014]. KÖLN 2014.

SCHULLER, MARIANNE; SCHMIDT, GUNNAR (HRSG.): MIKROLOGIEN. LITERARISCHE UND PHILOSOPHISCHE FIGUREN DES KLEINEN. BIELEFELD 2003.

### Kontakt

Prof. Dr. Sabiene Autsch

Fakultät für Kulturwissenschaften

Institut für Kunst, Musik, Textil

Kunst/Kunstgeschichte und ihre Didaktik

05251-60-2985

sabiene.utsch@upb.de

### Kontakt

Prof. Dr. Claudia Öhlschläger

Fakultät für Kulturwissenschaften

Institut für Germanistik und vergleichende Literaturwissenschaften

Fach: Komparatistik  
(Vergleichende Literatur- und Kulturwissenschaft)

05251 60-3212

claudia.oehlschlaeger@upb.de

# Mit Car-to-X in die Zukunft

*Kommunizierende Autos für automatisierte kooperative Fahrmanöver*

Von Falko Dressler  
und Christoph Sommer



**Prof. Dr.-Ing. habil. Falko Dressler** studierte und promovierte an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Von 2011–2014 leitete er den Lehrstuhl für Technische Informatik an der Universität Innsbruck. Seit 2014 ist er Professor in Paderborn und Leiter des Lehrstuhls für Verteilte Eingebettete Systeme. Forschungsgebiete sind adaptive Drahtloskommunikation, Selbstorganisationsmethoden und Eingebettete Systeme. Anwendungen reichen von Ad-Hoc- und Sensornetze, Fahrzeugkommunikation, industrieller Vernetzung bis hin zur Kommunikation in der Nanotechnologie.

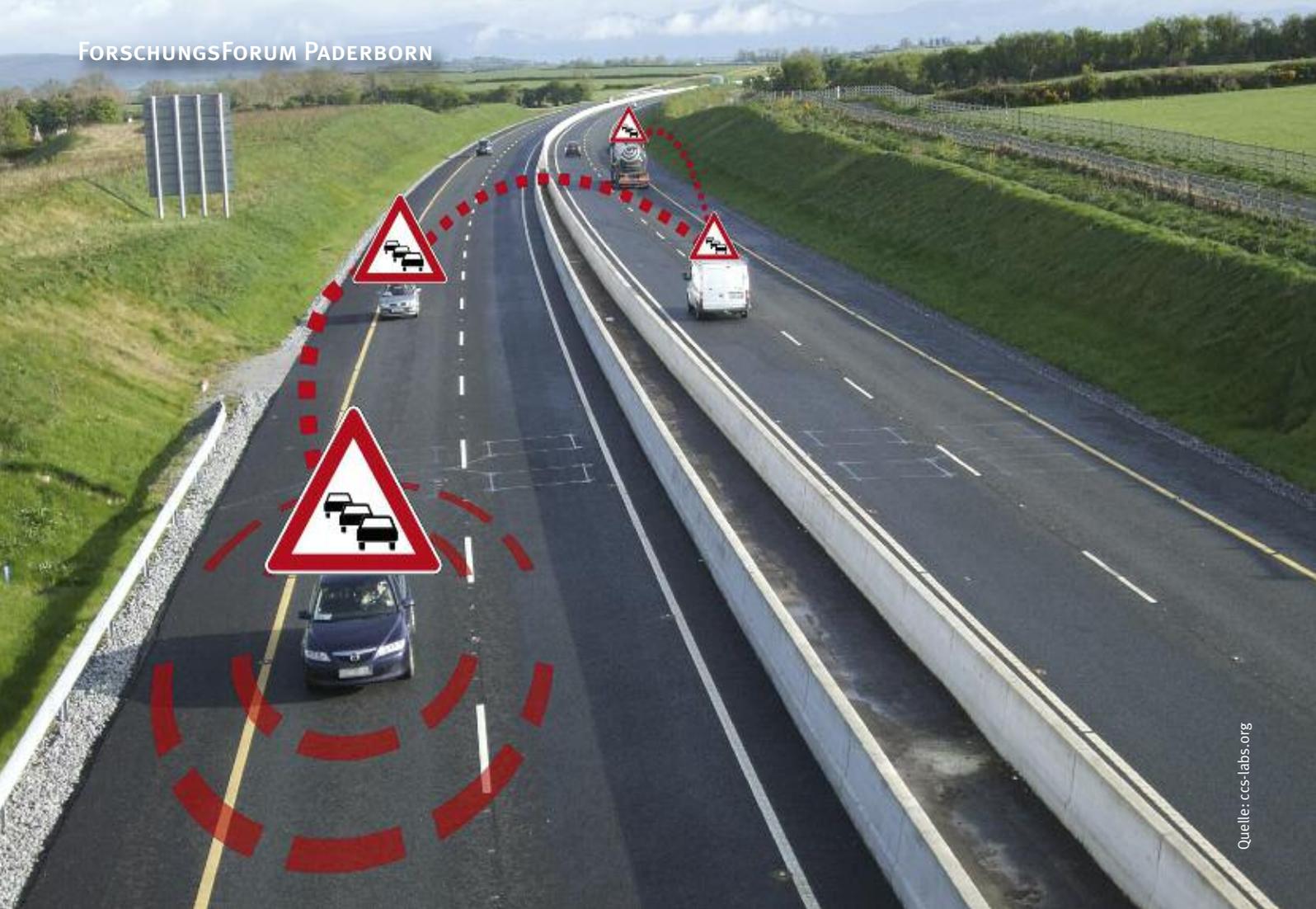
Man könnte flapsig sagen, die Welt drehe sich immer schneller. Gerade im Automobilsektor gab es durch Fortschritte in der Elektronik in den letzten 30 Jahren einen Generationswechsel – und der nächste steht bereits vor der Tür. Die Schlüsseltechnologie heißt Fahrzeugkommunikation (oder auch Car-to-X, kurz C2X). Damit ist einerseits gemeint, dass sich Autos untereinander unterhalten, z. B. über Bremsmanöver oder Staus. Ebenso schließt die Fahrzeugkommunikation aber auch den Informationsaustausch mit der Umgebung, in der sich das Fahrzeug aufhält, ein, wobei etwa Ampelschaltzeiten oder Warnhinweise übermittelt werden. Dank solcher Kommunikation kann sowohl die Verkehrssicherheit erhöht als auch ökonomischer gefahren werden. C2X stellt somit einen Quantensprung in der Automobiltechnik dar. Am Lehrstuhl für Verteilte Eingebettete Systeme werden verschiedene Technologiebausteine für C2X erforscht und weiterentwickelt. Schwerpunkte liegen auf der Einhaltung von Echtzeitbedingungen und der Erhöhung der Zuverlässigkeit der drahtlosen Übertragung. Dabei stehen neben dem Entwurf von C2X-Protokollen, also Regeln für diesen Informationsaustausch, insbesondere zukünftige Anwendungen wie das automatisierte kooperative Kolonnenfahren auf dem Programm.

## Mehr Effizienz und Sicherheit im Straßenverkehr

Anwendungen für den drahtlosen Informationsaustausch zwischen Autos gibt es viele [1]. Einige

sind uns aus dem Alltag nicht nur bekannt, sondern schon so vertraut, dass wir sie nicht mehr missen möchten. Dazu gehören insbesondere Verkehrsinformationssysteme und sogenannte Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Das „Navi“ ist in den meisten Neuwagen bereits Standard und es gibt viele Nachrüstsysteme auf dem Markt. So richtig ausreizen lässt sich die Funktionalität aber erst, wenn das System permanent mit aktuellen Stauinformationen gefüttert wird. Dies geschieht etwa über herkömmlichen Rundfunk per TMC (Traffic Message Channel) bzw. Navteq Traffic (ehemals TMCpro) oder über eine aktive Mobilfunkverbindung. Hier empfängt das System permanent neue Verkehrsinformationen und kann diese für Routenanpassungen bedingt durch die aktuelle Straßenlage nutzen. Einen Schritt weiter gehen Ideen, innerstädtisch grüne Wellen zu realisieren, indem Lichtsignalanlagen aktiv ihre Schaltzyklen mittels Fahrzeugkommunikation an die Autos übertragen. Erste Pilotversuche gab es bereits in den 1970er-Jahren mit der Wolfsburger Welle. Jedoch sind die Kommunikationstechnologien erst heute ausgereift genug, diese Ideen wieder aufzugreifen. Neuere Pilotversuche wie in Ingolstadt und München zeigen, dass ein erhebliches Potenzial in dieser Technologie liegt – Ergebnisse der Studien zeigen deutliches Einsparpotenzial in Bezug auf Verbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß und vor allem bei der Reisezeit.

Aktuelle Fahrerassistenzsysteme nutzen primär im Auto verbaute lokale Sensoren. Das geht weit



Quelle: ccs-labs.org

Abb. 1: Illustration des Car-2-X-Informationsaustauschs.

über die üblichen Radar- und Ultraschall-basierten Abstandsmessungen hinaus: neu sind Lidar, also ein 360°-Radar, Stereokameras und vieles mehr. Voll entfalten können die Fahrerassistenzsysteme ihr Potenzial allerdings erst, wenn auch Informationen von anderen Fahrzeugen in die Berechnungen aufgenommen werden. So kann Radar oder eine Kamera eben nicht „um die Ecke gucken“ oder durch ein vorausfahrendes Fahrzeug hindurch sehen – mit drahtloser Fahrzeugkommunikation ist das kein Problem. Diese Trends gipfeln heute in zukünftigen Visionen teil- bzw. vollautomatisierter Fahrzeuge. Erst durch Fahrzeugkommunikation können sich diese untereinander koordinieren, Kolonnen (Platoons) bilden oder koordiniert automatisch Unfälle vermeiden.

### Grundlagen moderner Fahrzeugkommunikation

Die gemeinsame Grundlage für alle Formen von Fahrzeugkommunikation sind Technologien zur drahtlosen Übertragung von Informationen. Die sicherlich bekannteste dieser Technologien ist das WLAN (Wireless LAN), das längst unsere Laptops und Smartphones im Wohnzimmer wie im Hotelzimmer mit dem Internet verbindet. Voraussetzung dafür ist jedoch ein WLAN-Hotspot in Reichweite. Dies ist leider – wie z. B. von Urlaubsreisen bekannt – eher selten der Fall. Auch dauert der Verbindungsaufbau in klassischen WLANs derart

lange, dass diese zunächst nicht als Basis für Kommunikation zwischen zwei Autos in Frage kommen konnten, da diese gerade in Städten oft nur für Bruchteile von Sekunden in Funkkontakt stehen können.

Frühe Fahrzeugkommunikationssysteme bauten deshalb auf Mobilfunktechnologien wie GSM, UMTS oder LTE auf. Die Vorteile liegen auf der Hand: Wer Mobilfunkempfang hat, der hat unmittelbar Zugriff auf das Internet und damit jeden erdenklichen Dienst, etwa zum Abruf von digitalem Kartenmaterial und Verkehrsinformationen. Problematisch wird es, wenn zu viele Kunden gleichzeitig das Mobilfunknetz nutzen wollen (Stichwort Silvester, genauso aber auch bei Stau auf der Autobahn). Nun werden Datenübertragungen teils um Sekunden bis Minuten verzögert – und ohne Mobilfunkabdeckung ist die Datenübertragung selbst zum unmittelbaren Hintermann nicht mehr möglich. Damit sind Mobilfunktechnologien keine geeignete Basis für sicherheitsrelevante Anwendungen, in denen es auf Sekundenbruchteile bei der Reaktion ankommt.

In modernen Fahrzeugkommunikationssystemen kommt mit IEEE 802.11p eine Variante von WLAN zum Einsatz, die speziell für Fahrzeugkommunikation entwickelt wurde: Sie sendet auf einem von mehreren Kanälen in einem exklusiv für Fahrzeugkommunikation reservierten Frequenzband um

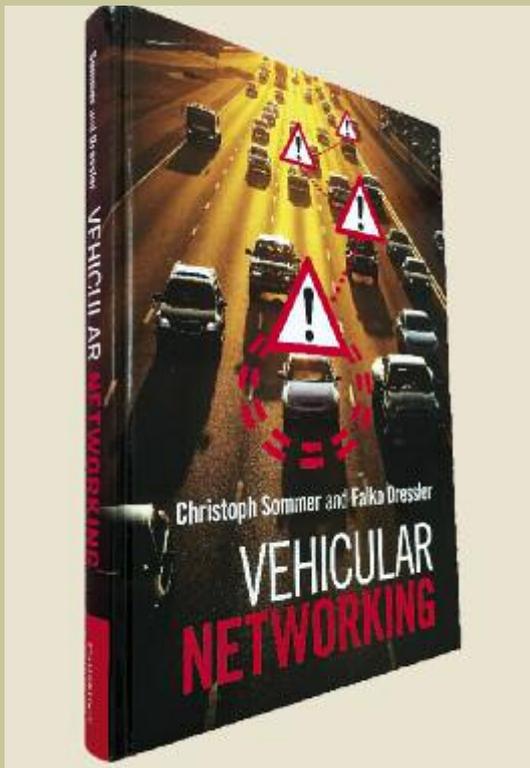


Abb. 2: Das Lehrbuch Vehicular Networking ist im Dezember 2014 bei Cambridge University Press erschienen.

Quelle: Cambridge University Press

5,9 GHz und kommt ohne zeitaufwändigen Verbindungsaufbau aus.

Neue Entwürfe von Fahrzeugkommunikationssystemen gehen noch einen Schritt weiter und setzen daher auf eine Konvergenz von Mobilfunk der neuesten (und zukünftigen) Generationen mit WLAN. Solche heterogenen Fahrzeugnetze [2] sind in der Lage, die Vorteile beider Technologien zu vereinen: So können etwa Cloud-Dienste im Internet über eine Mobilfunkverbindung genutzt werden, während ein System zur Unfallvermeidung mit seiner unmittelbaren Umgebung über IEEE 802.11p-basiertes WLAN kommuniziert.

### Forschung in Paderborn

Es sind solche Fragen im Kontext der Fahrzeugkommunikation, zu der der Lehrstuhl für Verteilte Eingebettete Systeme an der Universität Paderborn Grundlagenforschung betreibt. Im Folgenden sollen beispielhaft vier Forschungsfelder vorgestellt werden, in denen die hiesige Arbeitsgruppe international besonders ausgewiesen ist.

### Kanalzugriff/Beaconing

Ein erster Schwerpunkt der Arbeit besteht darin, neue Protokolle zu erarbeiten. Viele C2X-Anwendungen basieren auf periodisch ausgetauschten Broadcastnachrichten (Beacons). Als Basis wird das IEEE 802.11p-Protokoll genutzt, welches – ähnlich wie WLAN – einen verteilt koordinierten Kanalzugriff auf die drahtlose Kommunikationsschnittstelle realisiert. Bei wenigen Fahrzeugen in Übertragungreichweite ist das kein Problem. Kritisch wird es, wenn es sehr viele Autos gibt, die

beim Zugriff auf den drahtlosen Kanal wetteifern. Hier kommt es – wieder ähnlich wie bei WLAN – zu Überlast und damit zu Kollisionen von Radiopaketen. Dies wurde konzeptionell untersucht und durch neue Protokollverfahren gelöst. Beispielhaft sei das Dynamic Beaconing-Protokoll genannt [3], welches durch kontinuierliche Abschätzung der Kanallast und der Anzahl von Kommunikationsnachbarn die Frequenz der Beacons beeinflusst. Aktuelle Forschungsziele fokussieren auf dem integrierten Protokollentwurf für den gleichzeitigen Betrieb von C2X-Anwendungen mit potenziell gegensätzlichen Kanalzugriffszielen (z. B. hohe Datenrate vs. geringe Latenz).

### Verkehrssicherheitsanwendungen

Ein zweites Arbeitsumfeld betrifft die Formen von Fahrzeugkommunikation, die der Verkehrssicherheit dienen. Thematisch sind Verkehrssicherheitsanwendungen aus Sicht der Netzwerkprotokolle spannend, da diese besonders harte Anforderungen insbesondere in Bezug auf Latenz und Zuverlässigkeit der Datenübertragung an die C2X-Protokolle stellen. Die Arbeitsgruppe forscht seit einigen Jahren an zwei Beispielanwendungen: Kreuzungsassistenten in der Stadt und kooperatives Kolonnenfahren (Platooning) auf Autobahnen und Landstraßen. Konkret wird für die Kreuzungsassistenten eine Kommunikation zwischen zwei Fahrzeugen, die auf eine Kreuzung zufahren aufgebaut, um die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls basierend auf den gemessenen und prognostizierten Trajektorien der Fahrzeuge in Zeit und Raum zu bestimmen. Beim Platooning geht es um die Möglichkeit, Fahrzeuge mit minimalem Sicherheitsabstand (wenige Meter, deutliche Reduktion des Kraftstoffverbrauchs durch Windschatten) teilautomatisch zu steuern. Eine Regelung kontrolliert den Abstand nicht nur basierend auf Abstandsinformationen zum Vorderfahrzeug, sondern auch mit durch C2X-übertragenen Informationen über das Führungsfahrzeug und den Vordermann (z. B. Geschwindigkeit, Beschleunigung) [4]. Um Auffahrunfälle zu vermeiden, gilt es in beiden Bereichen insbesondere die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Dies ist durch geeignete Kombination von Protokolltechniken (z. B. koordinierter Zeitmultiplex, Kontrolle der Übertragungssignalstärke für örtliche Trennung von Kommunikationsvorgängen oder situationsabhängige Adaption der Beaconfrequenz) möglich. Neuartige Verfahren zum gemischten Betrieb mit verschiedenen Kommunikationstechnologien sind ein Schwerpunkt der Forschung. So wird IEEE 802.11p z. B. mit LTE, Kommunikation über sichtbares Licht (Heckleuchten und Kamera) oder direkt über das Abstandsradarsignal erforscht.

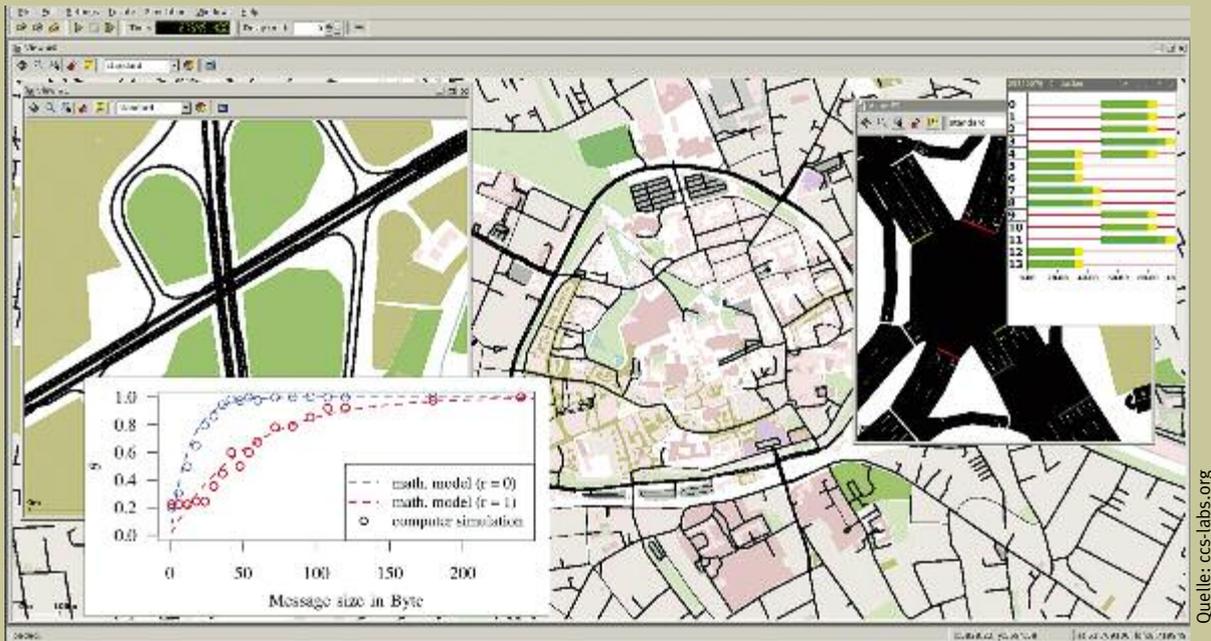


Abb. 3: Mit dem Simulationswerkzeug Veins ist es möglich, realistische Verkehrsflüsse zu erzeugen und Fahrzeugkommunikationsanwendungen in diesen Umgebungen zu erproben. Gezeigt ist ein Modell von Paderborn.

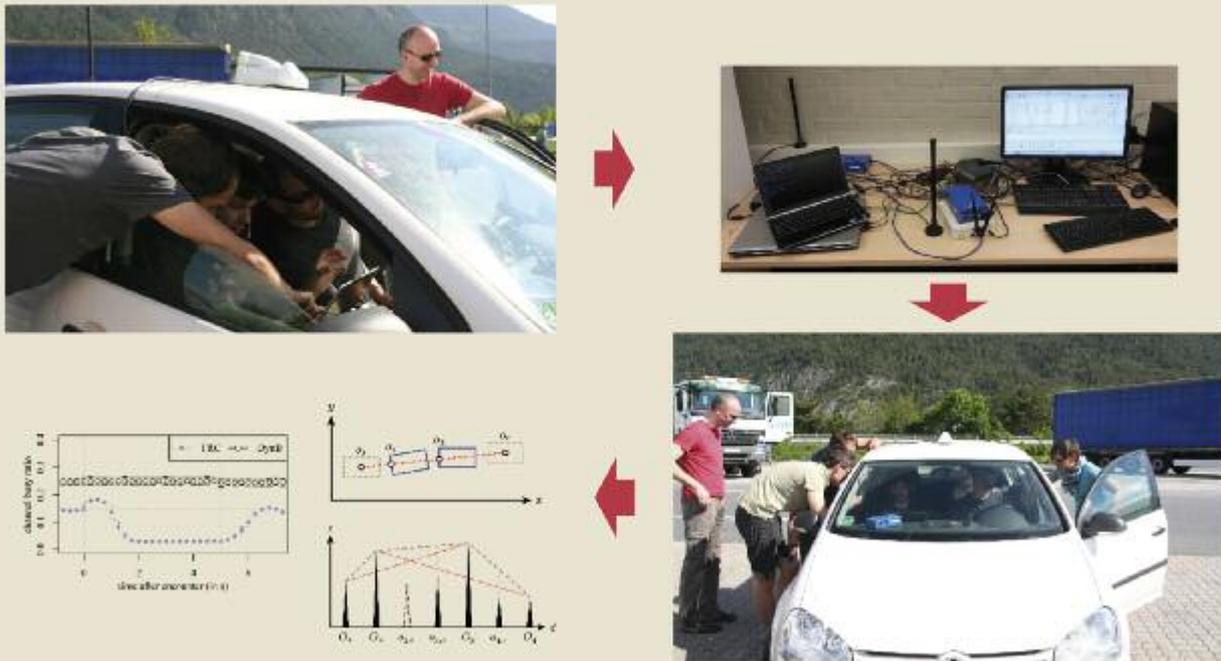
**Simulation mit Veins**

Ein drittes Forschungsthema ist die Bewertung von C2X-Protokollen mittels Simulation. Mit dem Simulator Veins (Vehicles in Network Simulation) [5] wurde von der Arbeitsgruppe ein Werkzeug entwickelt, mit dem die mikroskopisch genaue Simulation von Fahrzeugen auf einer realen Straßenkarte mit der Simulation von Fahrzeugkommunikationsprotokollen verknüpft wird. Konkret wird die Bewegung der Fahrzeuge im Straßenverkehr durch Modelle beschrieben, die die Längs- und Querschleunigung regeln, Überhol- und Kreuzungsmanöver formulieren und es sogar erlauben, Messdaten zu Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu ermitteln. Auf Netzwerkseite wurden Modelle erstellt, die die Radioübertragung in C2X-Umgebungen realitätstreu widerspiegeln. Dazu gehören z. B. Modelle für die Signaldämpfung durch Gebäude oder andere Fahrzeuge, aber auch die Beschreibung der Protokollstapel aus Forschung und industrieller Standardisierung. Diese integrierte und holistische Simulation erlaubt es einerseits, die C2X-Kommunikation in realistischen Umgebungen zu studieren. Dabei geht es eher um statistische Eigenschaften der Protokolle. Andererseits werden auch gezielte Einblicke in sehr detaillierte Situationen möglich, z. B. bei einem Kreuzungsmanöver in dem ein Fahrzeug die Vorfahrtsregeln missachtet. Unser Veins-Simulator wird derzeit von Forschungsgruppen in mehr als 50 Ländern genutzt. Kern der aktuellen Forschung ist die Anbindung von Veins an weitere Simulatoren (z. B. an ein Hardware-in-the-Loop-Simulationssystem von dSPACE) sowie die kontinuierliche Verbesserung der genannten

Modelle. Dies erhöht entsprechend die Aussagekraft der Simulationen und unterstützt damit direkt die Forschung an C2X-Protokollen.

**Experimentalplattform**

Das vierte Forschungsumfeld hängt eng mit der simulativen Methode der Leistungsanalyse entwickelter Protokolle zusammen. Zwar kann mittels Simulation das erwartete Verhalten von C2X-Lösungen vorhergesagt werden, jedoch bedeutet Simulation letztendlich auch Abstraktion von physikalischen Effekten (statistische Modelle vs. konkrete Szenario-bedingte Signalausbreitung). Ziel der Arbeitsgruppe ist es, nach Möglichkeit alle Protokolle auch in realen Umgebungen zu validieren. Dazu wurde eine eigene Experimentalplattform entwickelt, die auf einem eingebetteten Linux-System basiert und eine nahezu vollständige Implementierung des IEEE 802.11p-Protokollstapels beinhaltet. Damit werden alle Protokollerweiterungen in Bezug auf Medienzugriff oder Informationsausbreitung im Netzwerk testbar. Lediglich der Zugriff auf die physikalische Schicht der Signalverarbeitung ist durch die systembedingt zu nutzende Netzwerkkarte verwehrt. Es kann zwar der Betriebssystemtreiber für die Karte modifiziert werden, jedoch nicht die Funktionalität des Funkchips. Dies konnte jedoch durch ein sogenanntes Software Defined Radio (SDR), welches die Funktionen der Netzwerkkarte komplett in Software abbildet, umgangen werden. Dazu wird nur noch die analoge Übertragung über den Drahtloskanal durch ein Hardwaremodul realisiert, jedoch die gesamte Signal in einem speziellen frei programmierbaren SDR-Modul. Unsere



Quelle: ccs-labs.org

Abb. 4: Viele Experimente sind nötig, um ausreichend empirische Daten zu sammeln, aus denen ein mathematisches Modell erzeugt werden kann. Letzteres wird in der Forschung z. B. für die Entwicklung neuer Protokolle genutzt.

mittlerweile preisgekrönte Realisierung des IEEE 802.11p-Protokolls in SDR [6] ist heute verbreitet im Einsatz und erlaubt es, komplett neue Protokollentwicklungen auf allen Schichten zu implementieren und zu testen. Wir sehen die SDR-Plattform als zentralen Baustein einerseits für weitere Forschungen an C2X-Protokollen, andererseits aber auch als Option für die Realisierung von Systemen, die direkt in Fahrzeuge eingebaut werden können. Durch die Softwarelösung würden diese auch für zukünftige Protokollstandards einfach durch ein Update fit für die nächste Generation gemacht werden können.

#### Lokale und internationale Vernetzung

Damit sind vier höchst aktuelle Forschungsfelder benannt, die vom Lehrstuhl für Verteilte Eingebettete Systeme an der Universität Paderborn derzeit im Bereich der Fahrzeugkommunikation verfolgt werden. Dabei profitieren diese Forschungen von der exzellenten lokalen und internationalen Vernetzung der Arbeitsgruppe. Gegründet wurde der Lehrstuhl 2014 als Stiftungsprofessur der Paderborner Firma dSPACE, mit der gemeinsam seitdem eine Reihe von neuen Forschungsthemen angegangen und teilweise bereits umgesetzt wurden. Auch die Stadt Paderborn ist zu einem festen Partner in der C2X-Forschung geworden. Der Standort Paderborn nimmt mittlerweile sogar eine Schlüsselfunktion in der Entwicklung der modernen Fahrzeugkommunikation ein. So fand im Dezember 2014 die internationale Tagung zum

Thema C2X, die IEEE Vehicular Networking Conference, zum ersten Mal in Deutschland und zwar in Paderborn statt. Auch dies war ein wichtiger Schritt, um Paderborn als eine feste Größe in der internationalen Grundlagenforschung zur modernen Fahrzeugkommunikation zu etablieren, wozu auch die hier vorgestellten Arbeitsfelder wesentlich beitragen.

#### Literatur

- [1] C. SOMMER UND F. DRESSLER, VEHICULAR NETWORKING, CAMBRIDGE, UK: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2014.
- [2] F. DRESSLER, H. HARTENSTEIN, O. ALTINTAS UND O. K. TONGUZ, „INTER-VEHICLE COMMUNICATION – QUO VADIS,“ IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, Bd. 52, Nr. 6, pp. 170–177, JUNE 2014.
- [3] C. SOMMER, S. JOERER, M. SEGATA, O. K. TONGUZ, R. LO CIGNO UND F. DRESSLER, „HOW SHADOWING HURTS VEHICULAR COMMUNICATIONS AND HOW DYNAMIC BEACONING CAN HELP,“ IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, Bd. 14, Nr. 7, pp. 1411–1421, JULY 2015.
- [4] MICHELE SEGATA, BASTIAN BLOESSL, STEFAN JOERER, CHRISTOPH SOMMER, MARIO GERLA, RENATO LO CIGNO AND FALKO DRESSLER, „TOWARDS COMMUNICATION STRATEGIES FOR PLATOONING: SIMULATIVE AND EXPERIMENTAL

EVALUATION," IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 64 (12), PP. 5411–5423, DECEMBER 2015.

- [5] C. SOMMER, R. GERMAN UND F. DRESSLER, „BIDIRECTIONALLY COUPLED NETWORK AND ROAD TRAFFIC SIMULATION FOR IMPROVED IVC ANALYSIS," IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, Bd. 10, Nr. 1, pp. 3–15, JANUARY 2011.
- [6] B. BLOESSL, M. SEGATA, C. SOMMER UND F. DRESSLER, „TOWARDS AN OPEN SOURCE IEEE 802.11P STACK: A FULL SDR-BASED TRANSCEIVER IN GNURADIO," IN 5TH IEEE VEHICULAR NETWORKING CONFERENCE (VNC 2013), BOSTON, MA, 2013.



**Dr.-Ing. Christoph Sommer** ist AkadR a. Z. am Lehrstuhl für Verteilte Eingebettete Systeme. Nach seiner Promotion an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg 2011 verbrachte er als Gastwissenschaftler Aufenthalte an der Carnegie Mellon University (CMU) und der University of California, Los Angeles (UCLA). In seiner Forschung beschäftigt er sich mit Fragen rund um Simulation sowie Effizienz und Sicherheit von heterogenen Fahrzeugnetzen und deren Anwendung für autonomes Fahren.

**Kontakt**

**Prof. Dr.-Ing. Falko Dressler**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik**

**Verteilte Eingebettete Systeme**

**05251 60-6510**

**[dressler@ccs-labs.org](mailto:dressler@ccs-labs.org)**

# Auswahl internationaler Standorte

*Wie lassen sich Standortentscheidungen methodisch unterstützen?*

Von Stefan Betz



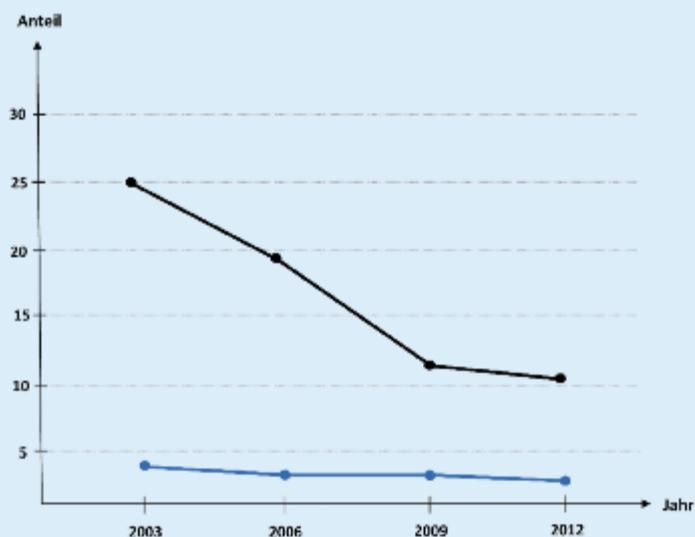
**Prof. Dr. Stefan Betz** ist seit Oktober 2004 Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Produktionsmanagement und Controlling, in der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Produktions-, Beschaffungs- und Logistikmanagement sowie im Industriellen Erfolgscontrolling.

Ausgehend vom letzten Jahrhundert sind die Direktinvestitionen deutscher Unternehmen in ausländische Standorte ständig gestiegen. Ihren Höhepunkt erreichten sie im Jahre 2007 mit knapp 100 Milliarden Euro. Seitdem haben diese Investitionsströme allerdings von Jahr zu Jahr abgenommen, und es hat sich sogar ein umgekehrter Trend mit bemerkenswertem Umfang an Rückverlagerungen ehemals im Ausland aufgebauter Produktionskapazitäten eingestellt. Wie man solche in der Praxis zu treffenden Hin- und Rückverlagerungsentscheidungen wissenschaftlich fundiert unterstützen kann, war die Grundsatfrage des hier vorgestellten Forschungsprojekts.

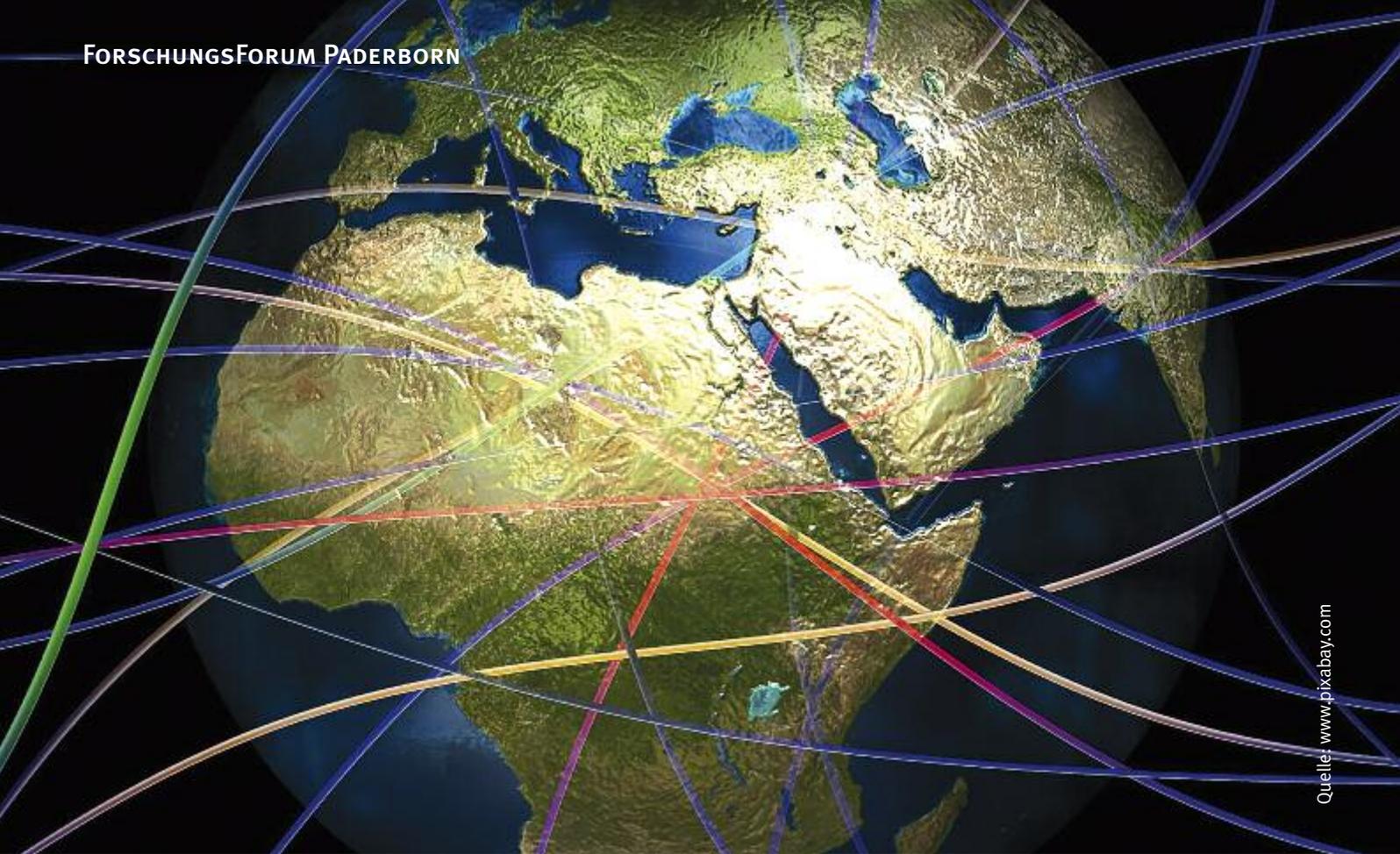
## Problemstellung

Für den langfristigen Erfolg von Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branche ist die Standortwahl ein wesentlicher Bestimmungsfaktor. Daher beschäftigen sich bereits bestehende Betriebe immer wieder mit der Frage, an welchen Standorten welche Kapazitäten zukünftig auf- und/oder abgebaut werden sollen. Die Beantwortung dieser Frage sollte dann dergestalt erfolgen, dass eine zuvor festgelegte Zielsetzung optimiert wird. Vor dem Hintergrund eines für Standortentscheidungen relevanten, langfristigen Planungszeitraums bieten sich als zu verfolgende Zielgrößen strategische Kennziffern ganz unterschiedlicher Art an. Im Rahmen von dynamischen Investi-

Abb. 1: Anteile von Betrieben mit Produktions- bzw. Rückverlagerungen in der Metall- und Elektroindustrie.



Quelle: [1]



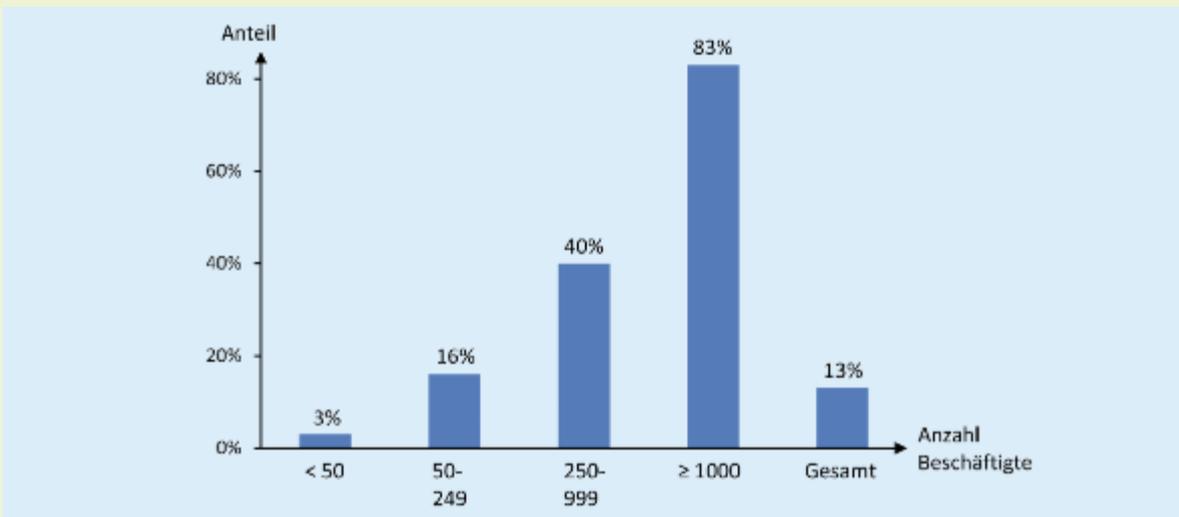
Quelle: www.pixabay.com

tionsrechnungsverfahren handelt es sich dabei beispielsweise um den Kapitalwert, die Annuität oder den internen Zinssatz. Zieloptimal ist dann derjenige inländische oder ausländische Standort, der die zuvor ausgewählte Zielsetzung bestmöglich erfüllt.

Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis werden Standortverlagerungsentscheidungen seit einigen Jahren intensiv diskutiert. Dabei geht es zum einen um die Überlegung, eigene (neue und/oder bereits bestehende) Kapazitäten an ausländische Standorte zu verlagern. Prominente (mehr oder weniger) erfolgreiche Beispiele der jüngeren Vergangenheit sind hier BMW, ThyssenKrupp und VARTA. Zum anderen ist zu diskutieren, ob und gegebenenfalls in welchem Umfang bereits im Ausland vorhandene Kapazitäten an inländische

Standorte zurückverlagert werden. Hier sind beispielsweise Steiff und STIHL zu nennen. Wie sich in der Praxis Standortverlagerungen einerseits (oberer Streckenzug) und Standortrückverlagerungen andererseits (unterer Streckenzug) über die Zeit hinweg entwickelt haben, lässt sich Abbildung 1 entnehmen [1].

Anknüpfend an diesen Zeitvergleich lässt sich somit als das im Rahmen des Forschungsprojekts zu lösende Problem formulieren: Wie kann man den Standortplanungsprozess für Verlagerungen und Rückverlagerungen ausgewählter Bestandteile international agierender Unternehmen derart unterstützen, dass durch das erzielte Planungsergebnis eine angestrebte Zielgröße optimal erfüllt wird?



Quelle: [2]

Abb. 2: Anteil an Betrieben mit Produktionskapazitäten im Ausland in 2012.



Quelle: www.pixabay.com

**Analyseobjekt**

Zur Beantwortung dieser Fragestellung muss in einem ersten Schritt das Analyseobjekt, das international tätige Unternehmen, näher betrachtet werden: Handelt es sich um einen Industriebetrieb oder einen Dienstleistungsbetrieb? Über welche Größe verfügt er? In welcher Branche agiert er? In welchen Ländern will er investieren, und aus welchen Ländern will er sich zurückziehen? Zur Beantwortung dieser Fragen lassen sich die Ergebnisse empirischer Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung in Karlsruhe heranziehen. Betrachtungsgegenstand dieser Analysen waren Industriebetriebe, deren Umgang mit Produktionskapa-

zitäten im In- und Ausland näher untersucht wurde. Einige (hier relevante) Ergebnisse können den Abbildungen 2 bis 4 entnommen werden [2]. Die aus den empirischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse legen offen, für welche Standortverlagerungsentscheidungen eine methodische Unterstützung besonders wichtig ist. Laut einer Umfrage der Unternehmensberatung McKinsey & Company verwenden nur 25 Prozent der Unternehmen standardisierte Methoden zur Unterstützung von Standortentscheidungen. 75 Prozent der Unternehmen bevorzugen hingegen ein intuitives Vorgehen bei der Standortwahl. Aber selbst dann, wenn Entscheidungsunterstützungsinstrumente im Rahmen der Standortplanung zum Einsatz gelangen, greift man in der Praxis auf einzelne Standortfaktorenkataloge oder Scoring-Modelle zurück. Ein integratives Vorgehen, bei dem eine hohe Anzahl möglicher Standorte wenig zeitraubend und eine geringe Anzahl vorteilhafter Standorte sehr zeitintensiv geprüft werden, existiert nicht und wird im Folgenden dargestellt und beurteilt.

Quelle: [2]

**Methodisches Vorgehen**

Steht ein Unternehmen vor der Entscheidung, Produktionskapazitäten im In- und Ausland auf- oder abzubauen, so bietet sich ein sukzessiver, in mehreren Schritten zu vollziehender Entscheidungsunterstützungsprozess an. [3]

Quelle: [2]

(1) Zunächst sollte mithilfe einer Checkliste geprüft werden, ob alle denkbaren Standorte im



| Branche   | Anteil |
|---|--------|
| Herstellung von DV-, elektronischen und Optik-Geräten | 17%    |
| Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerbe                | 17%    |
| Herstellung elektrischer Ausrüstungen                 | 15%    |
| Fahrzeugbau   | 13%    |
| Maschinenbau  | 12%    |

Abb. 3: Anteil an Produktionsverlagerungen im Branchenvergleich in 2012.

| Branche   | Anteil |
|---|--------|
| Herstellung elektrischer Ausrüstungen                 | 7%     |
| Herstellung von Gummi und Kunststoffwaren             | 4%     |
| Chemische Industrie                                   | 4%     |
| Fahrzeugbau   | 3%     |
| Herstellung von DV-, elektronischen und Optik-Geräten | 2%     |

Abb. 4: Anteil an Rückverlagerungen im Branchenvergleich in 2012.



Quelle: www.pixabay.com

In- und Ausland die im Vorhinein vom Unternehmen zu formulierenden K.o.-Kriterien erfüllen. Diejenigen potenziellen Standorte, die mindestens ein K.o.-Kriterium nicht erfüllen, werden als unzulässig kategorisiert und fallen aus den weiteren Betrachtungen in den Schritten (2) und (3) heraus.

(2) Aus der Menge der zulässigen Standorte werden mittels Nutzwertanalyse zwei Teilmengen gebildet, und zwar je eine Menge vorteilhafter und unvorteilhafter Standorte. Die Nutzwertanalyse ist als spezielles Scoring-Modell aufwändiger als die Anwendung des Checklistenverfahrens, weshalb sie auch nur für die kleinere Menge der zulässigen Standorte eingesetzt werden sollte.

(3) Die Menge der zulässigen und vorteilhaften Standorte kann nun im letzten Schritt einer aufwändigeren Analyse unterzogen werden. Da es sich bei der Standortwahl um ein langfristiges Entscheidungsproblem handelt, bieten sich als strategische Entscheidungsunterstützungsinstrumente die dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung an. Hierzu gehört die in Forschung und Praxis gleichermaßen beliebte Kapitalwertmethode, die sich gegenüber den anderen dynamischen Investitionsrechnungsverfahren durchgesetzt hat.

**Checkliste als rein qualitatives Bewertungsverfahren**

Getrennt nach den beiden Entscheidungsproble-

men „pro und contra Verlagerung an einen ausländischen Standort“ sowie „pro und contra Rückverlagerung an den inländischen Standort“ sind Prüflisten zu formulieren, deren Inhalt aus Standorteigenschaften (=Standortfaktoren) und ihren von zulässigen Standorten jeweils zu erfüllenden Mindestausprägungen besteht. Wird ein möglicher Standort einer oder mehreren dieser Minimalanforderungen nicht gerecht, so ist er automatisch als unzulässig einzustufen [4].

Für die Überlegung einer Verlagerung inländischer Produktionskapazitäten an einen ausländischen Standort können solche Minimalbedingungen beispielsweise in der mindestens zu erwartenden Personalkosteneinsparung, in der höchstens in Kauf zu nehmenden Entfernung von der nächsten Großstadt oder in der mindestens zu erhaltenden Subventionshöhe des Ziellandes bestehen. Welche K.o.-Kriterien letztendlich in die Checkliste aufgenommen werden sollten, entscheidet ein Expertengremium des Unternehmens nach individuellen Gesichtspunkten. Allgemein formuliert dürften sich die jeweiligen Minimalanforderungen

| Motive   | Anteil |
|--|--------|
| Geringere Personalkosten                       | 71%    |
| Bessere Markterschließung                      | 28%    |
| Höhere Kundennähe                              | 26%    |
| Größere Nähe zu bereits verlagerten Produktion | 23%    |
| Leichter Zugang zu Rohstoffen                  | 15%    |

Abb. 5: Motive für Produktionsverlagerungen an ausländische Standorte (in Prozent der verlagernden Unternehmen).

Quelle: [4]



Quelle: www.pixabay.com

aus den verschiedenen Motiven für Produktionsverlagerungen an ausländische Standorte ableiten lassen. Zu diesen Motiven gehören u. a. laut einer empirischen Untersuchung des bereits benannten Fraunhofer-Instituts die in Abbildung 5 angeführten Gründe [2].

Bei der Frage der Rückverlagerung ausländischer Produktionsstätten an den inländischen Standort dürften hingegen andere Mindestausprägungen anderer Standorteigenschaften entscheidungsrelevant sein. Beispielsweise müssten durch eine Rückverlagerung bisheriger Auslandsstandorte an die Heimatproduktionsstätte die zu erwartenden Fehlerquoten um ein Mindestmaß abgesenkt werden können, oder es müsste gelingen, die erforderliche Besetzung von Arbeitsplätzen mit Fachkräften zu einem bestimmten Mindestprozentsatz zu verwirklichen, oder es müssten die in Kauf zu nehmenden Transportkosten in einer gegebenen Mindesthöhe abgebaut werden können. Letztendlich ist auch hier wiederum eine subjektive Entscheidung der Unternehmensleitung zu treffen. Generell dürften sich auch im Fall

der Rückverlagerung bisheriger Auslandsproduktionsstätten die Minimalanforderungen aus den unterschiedlichen Motiven für Kapazitätsrückverlagerungen ergeben [2]:

Neben den in Abbildung 6 genannten Motiven existiert noch eine Vielfalt weiterer Anlässe für Kapazitätsrückverlagerungen von ausländischen Produktionsstätten, wie beispielsweise ein sinkendes Lohngefälle zwischen Hoch- und Niedriglohnländern, eine Erhöhung der Transportkosten aufgrund steigender Ölpreise und eine Aufwertung von Währungen in Offshore-Destinationen [5]. Welche Motive bei den jeweiligen Standortverlagerungsentscheidungen relevant sind, muss jedes international agierende Unternehmen im Einzelfall eruieren. Die aus den verschiedenen Motiven ableitbaren Mindestanforderungen an den zu wählenden (inländischen bzw. ausländischen) Standort muss jeder Industriebetrieb individuell für sich festlegen.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Einzelfallentscheidung bezüglich der jeweils zu erfüllenden Minimalbedingung besteht darin, dass die zugehörige Ausformulierung (Beispiel: Die nächste Autobahnauffahrt darf nicht weiter als 10 km entfernt sein.) sehr praxisnah gelingen kann. Insofern geht man mit dem Einsatz des Checklistenverfahrens insgesamt nur ein sehr geringes Risiko ein, die tatsächlich zu beobachtende Realität zu stark zu abstrahieren – ein Vorwurf, dem sich viele andere betriebswirtschaftliche Entscheidungsunterstützungsinstrumente ausgesetzt sehen. Weitere

Quelle: [4]

| Motive                           | Anteil |
|----------------------------------|--------|
| Höhere Flexibilität              | 59%    |
| Verbesserte Qualität             | 53%    |
| Stärkere Kapazitätsauslastung    | 28%    |
| Geringere Transportkosten        | 25%    |
| Niedrigerer Koordinationsaufwand | 21%    |

Abb. 6: Motive für Rückverlagerungen an inländische Standorte (in Prozent der rückverlagernden Unternehmen).

Vorteile einer Verwendung der Checkliste für alle potenziellen Standorte bestehen in ihrer einfachen Anwendung, leichten Verständlichkeit und guten Nachvollziehbarkeit.

Als nachteilig erweist sich beim Einsatz der Checkliste die Vielfalt an subjektiven Entscheidungsakten: Es sind die jeweils relevanten Standortfaktoren auszuwählen, außerdem müssen diese Standorteigenschaften operationalisiert werden, und letztendlich bedarf es einer konkreten Festlegung der von einem zulässigen Standort mindestens zu erfüllenden Ausprägung der verschiedenen Standortfaktoren. Alle diese Entscheidungen werden in der Praxis eher intuitiv und nicht methodengestützt getroffen. Ein weiterer Nachteil des Checklistenverfahrens besteht in der Vernachlässigung der relativen Bedeutung verschiedener Standorteigenschaften – ein Defizit, das im zweiten Schritt der hier vorgeschlagenen Methodik beseitigt wird.

### **Nutzwertanalyse als semi-quantitatives Bewertungsverfahren**

Im zweiten Schritt des sukzessiven Entscheidungsunterstützungsprozesses für Standortverlagerungsentscheidungen wird die Menge an zulässigen Standorten um unvorteilhafte Alternativen bereinigt, wodurch eine Menge an zulässigen und vorteilhaften Standorten entsteht. Als Instrument wird hierzu die Nutzwertanalyse eingesetzt, deren Ziel darin besteht, verschiedene Handlungsalternativen (hier: Standorte) entsprechend der Nutzenvorstellungen des jeweiligen Entscheidungsträgers zu ordnen. Dabei wird wie folgt vorgegangen [6]:

Zunächst werden die für die jeweilige Standortverlagerungsentscheidung relevanten Standortfaktoren, wie z. B. die Verkehrslage eines Standortes, ausgewählt. Anschließend werden diese Standorteigenschaften gemäß ihrer jeweiligen Bedeutung für die zu treffende Standortentscheidung gewichtet. Dabei sollte die Summe der Gewichtungsfaktoren 1 bzw. 100 Prozent betragen. Danach werden die verschiedenen Standortalternativen dahingehend beurteilt, inwieweit sie die zuvor festgelegten (und gewichteten) Standorteigenschaften erfüllen. Hierbei geht es allerdings nicht – wie bei der Checkliste – um eine Entweder-Oder-Entscheidung; vielmehr ist ein hoher, mittlerer oder geringer Grad der Erfüllung der jeweiligen Standorteigenschaft festzustellen. Als Skala für diesen Erfüllungsgrad wird in der Regel das ganzzahlig auszuschoöpfende Intervall von 0 bis 10 gewählt. Sind dann alle Standortalternativen bezüglich sämtlicher Standorteigenschaften mittels einer Punktzahl bewertet worden, so multipliziert man anschließend diese auch als Teilnutzwerte bezeichneten Punktzahlen mit dem ihnen jeweils

zugehörigen Gewichtungsfaktor, wodurch sich für jede Kombination von Standortalternative und Standorteigenschaft ein gewichteter Teilnutzwert ergibt. Bildet man dann für jede Standortalternative die Summe aller gewichteten Teilnutzwerte über alle Standorteigenschaften hinweg, so erhält man einen Gesamtnutzenwert, der die (durchschnittliche) Vorteilhaftigkeit des jeweils betrachteten Standortes zum Ausdruck bringt.

Gemäß dieser Gesamtnutzenwerte lassen sich abschließend alle Standortalternativen in eine Rangfolge abnehmender Präferenzen des Entscheidungsträgers bringen. Letztendlich obliegt dann der Unternehmensleitung die Überlegung, ob die besten (im Sinne von nutzenmaximalen) drei, fünf oder mehr Standortalternativen einer weiteren, intensiveren Analyse unterzogen werden. In jedem Fall ist durch den Einsatz der Nutzwertanalyse eine (vorläufige) Auswahl vorteilhafter Standorte gelungen.

Hinsichtlich der beiden hier diskutierten Entscheidungsprobleme Produktionsverlagerung und Rückverlagerung können sich die entsprechenden Standortfaktoren durchaus unterscheiden: Während für die Produktionsverlagerungsentscheidung beispielsweise die potenzielle Personalkostensenkung infolge des Aufbaus einer ausländischen Produktionsstätte relevant sein dürfte, könnte für die Rückverlagerungsentscheidung etwa die mögliche Fehlerratenreduzierung ein wichtiger Standortfaktor sein [7].

Welche Standorteigenschaften für welches Entscheidungsproblem letztendlich herangezogen werden sollten, muss fallweise unternehmensindividuell entschieden werden. In diesem Freiraum liegt ein großer Vorteil der hier verwendeten Nutzwertanalyse. Sämtliche für die Standortverlagerungsentscheidung relevanten Aspekte können über eine entsprechende Formulierung von Standortfaktoren in den Entscheidungsprozess mit eingebunden werden, so dass dieser Prozess die Realität sehr gut abbilden dürfte. Ein weiterer Vorteil der Nutzwertanalyse besteht darin, dass ihre jeweiligen Ergebnisse gut nachvollziehbar und intersubjektiv überprüfbar sind. Der Standortbewertungsprozess erfolgt auf eine sehr systematische und überaus transparente Art und Weise.

Als nachteilig an der Nutzwertanalyse ist die mehrfache Subjektivität an verschiedenen Stellen des Analyseprozesses einzustufen: bei der Auswahl der Standortfaktoren, bei der Gewichtung der Standorteigenschaften und bei der Bestimmung des Erfüllungsgrades der einzelnen Standorteigenschaften durch die verschiedenen Standortalternativen. Weitere Nachteile der Nutzwertanalyse bestehen in den diesem Entscheidungsunterstützungsinstrument zugrunde liegenden Prämissen. Hierzu gehört u. a. die Annahme

der Substituierbarkeit, gemäß derer unterstellt wird, dass eine Verschlechterung in der Ausprägung der Standorteigenschaft A um einen Teilnutzwert X durch eine Verbesserung in der Ausprägung der gleich gewichteten Standorteigenschaft B um denselben Teilnutzwert X vollkommen ausgeglichen werden kann. Diese Annahme dürfte in der Realität wohl kaum erfüllt sein, man denke beispielsweise an den Ausgleich einer schlechteren Rohstoffverfügbarkeit durch eine bessere Personalverfügbarkeit. Als weitere problematische Prämisse kann hier noch die Annahme der Nutzenunabhängigkeit angeführt werden, die unterstellt, dass eine höhere Ausprägung des Teilnutzens bezüglich Standorteigenschaft C keinen Einfluss auf die Ausprägung des Teilnutzens bezüglich Standortfaktor D ausübt. Diese Prämisse mag häufig erfüllt sein, manchmal trifft sie jedoch nicht zu – man denke beispielsweise an die beiden Standorteigenschaften Personalverfügbarkeit und Lohnkostenniveau.

Insgesamt gesehen handelt es sich bei der Nutzwertanalyse um ein Entscheidungsunterstützungsinstrument, das im Rahmen der Standortplanung dabei hilft, die Menge der zulässigen Standorte um unvorteilhafte Standortalternativen zu reduzieren. Eine endgültige Standortentscheidung (beispielsweise anhand des maximalen Gesamtnutzens) sollte auf Basis der Nutzwertanalyse wegen der Vielzahl an subjektiven Bewertungsakten nicht getroffen werden. Vielmehr sollte mittels einer Sensitivitätsanalyse geprüft werden, welche Änderungen des Gesamtnutzens durch welche Änderungen der Gewichtungsfaktoren, Teilnutzenskalen und Erfüllungsgrade ausgelöst werden. Durch eine derartige Analyse lässt sich herausarbeiten, wie sensibel Standortplanungsentscheidungen auf geringfügige Änderungen der Inputdaten reagieren. Insofern sollte die Wahl des endgültigen Standortes auf konkreten Schätzungen zukünftig zu erwartender Ein- und Auszahlungen fußen, wie im dritten Schritt der hier empfohlenen Methodik dargelegt wird.

### **Kapitalwertmethode als rein quantitatives Bewertungsverfahren**

Da es sich bei der Standortwahl um ein strategisches Entscheidungsproblem handelt, bieten sich als Entscheidungsunterstützungsinstrumente die dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung an. Will man dann aus der Menge an vorteilhaften Standorten den zieloptimalen identifizieren, so sollte die angestrebte Zielgröße eine Erfolgskennziffer darstellen, weshalb Forschung und Praxis gleichermaßen den Kapitalwert empfehlen. Hierbei handelt es sich um einen auf den Zeitpunkt  $t = 0$  abgezinsten Vermögensdifferenzwert, der dadurch erzielt wird, dass das in  $t = 0$  vorhandene

Vermögen in die Sachinvestition (hier: die Standortalternative) statt in die Finanzinvestition (hier: Geldanlage zum Zinssatz  $i$ ) eingebracht wird. Geht man von einem Anfangsvermögen in Höhe von  $I_0$  und während des Planungszeitraums laufenden Cash Flows in Höhe von  $CF_t$  im Zeitpunkt  $t$  aus, so lässt sich der Vermögensdifferenzwert in  $t = 0$  problemlos ermitteln. Dabei erweist sich die Prognose der Cash-Flows in den Zeitpunkten  $0 < t < T$  als schwierig, während die im Zeitpunkt  $t = 0$  zu leistenden Investitionsauszahlungen (als Folge der getroffenen Standortverlagerungsentscheidung) häufig treffsicher prognostiziert werden können. Auch der Liquidationserlös im Zeitpunkt  $T$  kann nur schwierig abgeschätzt werden.

Bei Standortverlagerungen an ausländische Produktionsstätten müssen beispielweise Einzahlungserhöhungen infolge größerer Kundennähe und Auszahlungsreduzierungen infolge geringerer Personalkosten prognostiziert werden. Und bei Kapazitätsrückverlagerungen an inländische Standorte müssen etwa Einzahlungszuwächse infolge höherer Kapazitätsauslastungen und Auszahlungseinsparungen infolge eines niedrigeren Koordinationsaufwandes abgeschätzt werden [8]. Neben solchen laufenden Ein- und Auszahlungen während des Planungszeitraums sind zusätzlich noch Einmalzahlungen, wie z. B. Liquidationszahlungen, in die Kapitalwertermittlung mit einzu beziehen. Bei Verlagerungen an ausländische Standorte muss abgewogen werden, welcher Liquidationserlös bei Schließung des Standortes am Planungshorizont  $T$  noch erzielt werden könnte. Und bei Rückverlagerungen an die Heimatproduktionsstätte muss zu Beginn des Planungszeitraums in  $t = 0$  der mögliche Erlös aus dem Verkauf der Produktionskapazitäten im Ausland und am Ende des Planungszeitraums in  $t = T$  der erwartete Erlös aus der Liquidation der entsprechenden Inlandsinvestition abgeschätzt werden.

Alle diese zukünftigen Ein- und Auszahlungen, allerdings auch der Zinssatz  $i$  und die Nutzungsdauer  $T$ , sind unsichere Daten, die in die Berechnung des Kapitalwertes als Vermögensdifferenzwert eingehen. Somit hängen sowohl der Kapitalwert als auch die auf seiner Grundlage getroffenen Standortverlagerungsentscheidungen von Daten ab, die nicht treffsicher prognostiziert werden können. Ein weiterer Nachteil der Kapitalwertmethode besteht darin, dass sie auf der Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes fußt, d. h. es wird von einer Identität zwischen Soll- und Habenzinssatz ausgegangen, ferner wird von einer unbegrenzten Kapitalanlagemöglichkeit ausgegangen, darüber hinaus unterstellt man eine unbegrenzte Kreditaufnahmemöglichkeit. Geht man dagegen von einem unvollkommenen Kapitalmarkt aus, so ist die Kapitalwertmethode

nur noch in bestimmten Einzelfällen anwendbar. Eher bietet sich hier dann die Methode der vollständigen Finanzpläne an, für deren Einsatz allerdings deutlich mehr Zukunftsdaten bekannt sein müssen, als dies bei der Kapitalwertmethode der Fall ist.

Trotz dieser eindeutig zu benennenden Nachteile der Kapitalwertmethode wird dieses Entscheidungsunterstützungsinstrument in Forschung und Praxis gerne verwendet, weil die Zeitstruktur der Ein- und Auszahlungen des jeweiligen Standortes Berücksichtigung findet, indem die zu verschiedenen Zeitpunkten anfallenden Zahlungsströme verzinst werden. Außerdem lässt sich mithilfe des Kapitalwertes eine eindeutige Aussage über die absolute und relative Vorteilhaftigkeit einer Standortalternative treffen. Bei der absoluten Vorteilhaftigkeit geht es um den Vergleich der Investition eines Kapitalbetrages in den Standort und der Anlage desselben Kapitalbetrages am Finanzmarkt. Bei der relativen Vorteilhaftigkeit vergleicht man alle Kapitalwerte sämtlicher Standortalternativen und ermittelt deren Maximum.

### Fazit

Das im Rahmen des Forschungsprojekts diskutierte Problem einer Unterstützung von Standortverlagerungsentscheidungen lässt sich schrittweise mittels eines dreistufigen Prozesses einer Lösung zuführen: In einem ersten Schritt sollte der Einsatz einer Checkliste mit nicht allzu streng formulierten Mindestanforderungen an den gesuchten Standort aus der Menge aller möglichen Standortalternativen die zulässigen Standorte herausfiltern. Anschließend dient der zweite Schritt einer Identifikation von vorteilhaften Standortalternativen innerhalb der Menge an zulässigen Standorten. Hierbei hilft die Nutzwertanalyse, deren jeweilige Ergebnisse allerdings stets durch Sensitivitätsanalysen geprüft werden sollten. Als letzter Schritt ist die Ermittlung des zieloptimalen Standortes durchzuführen. Hierzu bietet sich der Einsatz eines Investitionsrechnungsverfahrens, der Kapitalwertmethode, an, wobei die Verfahrensschwäche einer Unsicherheit zukünftiger Daten durch die Verwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen abgemildert werden könnte. Die Frage, in welchem dieser drei Schritte welche erfolgskritischen Faktoren jeweils im Fokus stehen sollten, kann nicht allgemeingültig beantwortet werden. Vielmehr hängt diese Entscheidung von der im Einzelfall verfolgten Internationalisierungsstrategie ab: Während früher die Kostenreduktion als wesentliches Ziel von Standortplanungsentscheidungen angestrebt wurde, stehen heute eher Markterschließungs- und Following-the-Customer-Strategien im Vordergrund von Standortwahlentscheidungen. Die Diskussion von Fragestellungen

zu Alternativen erfolgskritischer Faktoren bleibt weiterer Forschung vorbehalten.

### Literatur

- [1] KINKEL, STEFFEN: FUTURE AND IMPACT OF BACKSHORING, IN: JOURNAL OF PURCHASING AND SUPPLY MANAGEMENT (20), 2014, S. 63–65.
- [2] ZANKER, CHRISTOPH U.A.: GLOBALE PRODUKTION VON EINER STARKEN HEIMATBASIS AUS, KARLSRUHE 2013.
- [3] BETZ, STEFAN: INTERNATIONALE STANDORTWAHL ALS STRATEGISCHES LOGISTIKPROBLEM, IN: BETZ, STEFAN (HRSG.): AUSGEWÄHLTE PROBLEME DES LOGISTIKMANAGEMENTS, HAMBURG 2015, S. 211–236.
- [4] CARPENTIER, STEPHEN: STANDORTRÜCKVERLAGERUNG – EIN AKTUELLES PROBLEM DER LOGISTIK UND SEINE LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN, PADERBORN 2013.
- [5] HEIM, EDGAR U.A.: OFFSHORING ODER RESHORING?, IN: ZEITSCHRIFT FÜR WIRTSCHAFTLICHEN FABRIKBETRIEB (109), 2014, S. 920–922.
- [6] KOCH, CHRISTIAN: SEGMENTSPEZIFISCHE UND MULTIKRITERIELLE BEWERTUNG VON STANDORTEN INTERNATIONAL AGIERENDER UNTERNEHMEN, HAMBURG 2013.
- [7] GRAY, JOHN U.A.: THE RESHORING PHENOMENON, IN: JOURNAL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (49), 2013, S. 27–33.
- [8] FRATOCCHI, LUCIANO U.A.: WHEN MANUFACTURING MOVES BACK: CONCEPTS AND QUESTIONS, IN: JOURNAL OF PURCHASING AND SUPPLY MANAGEMENT (20), 2014, S. 54–59.

### Kontakt

Prof. Dr. Stefan Betz

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Produktionsmanagement und Controlling

05251 60-5362

stefan.betz@upb.de

# Universitäre Bildung und kommunales Engagement

*Illustriert an einem Design Research-Projekt zum Service Learning*

Von Karl-Heinz Gerholz



**Jun.-Prof. Dr. Karl-Heinz Gerholz** hat die Juniorprofessur Wirtschaftspädagogik und Higher Education an der Universität Paderborn inne. Seine aktuellen Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Förderung von selbstreguliertem Lernen und Lernen durch Engagement in der beruflichen und hochschulischen Bildung sowie auf Curriculumforschung und die Entwicklung von Bildungsorganisationen. Im Zentrum seiner Forschungsarbeit steht v. a. die enge Verzahnung von Gestaltungsprozess und Theoriebildung.

**Gestaltung universitärer Bildung ist mit zwei Fragestellungen verbunden: Was ist das Bildungsziel in einem Studiengang und mit welchen didaktischen Formaten kann das Bildungsziel erreicht werden? Anliegen des vorliegenden Beitrages ist es, das didaktische Format des Service Learnings – Lernen durch Engagement – vorzustellen, welches fachwissenschaftliche Inhalte mit kommunalem Engagement verbindet. Darüber besteht das Potential einen Bildungsanspruch zu verfolgen, eine wissenschaftliche Problemlösefähigkeit zu fördern und gleichermaßen Studierende für die Relevanz von Engagement in der Zivilgesellschaft zu sensibilisieren. Dies wird im Artikel am Beispiel von wirtschaftswissenschaftlichen Studiengängen illustriert.**

## **Worauf soll universitäre Bildung vorbereiten?**

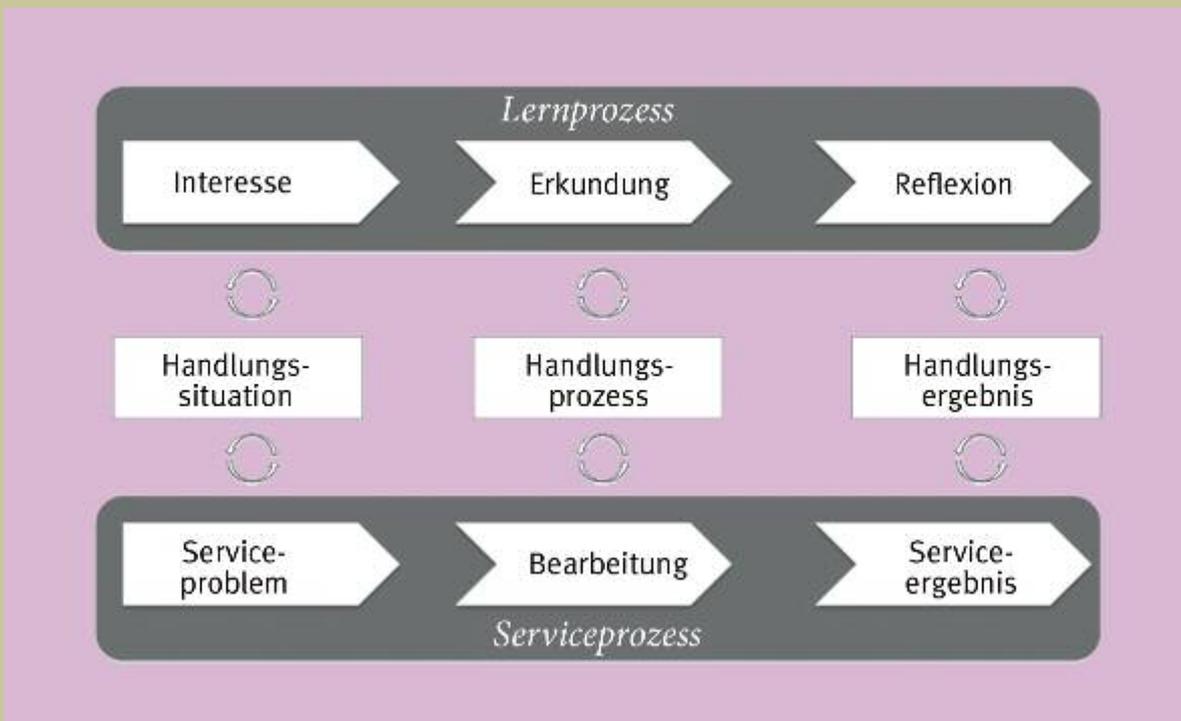
Die Frage des Ziels universitärer Bildung wird seit jeher innerhalb der Universität und zwischen Universität und Gesellschaft vielschichtig diskutiert. Aus Binnenperspektive der Universität ist universitäre Bildung stark mit dem Gedanken der „Einheit von Forschung und Lehre“ verbunden. Dies geht – historisch gewendet – auf die preußischen Hochschulreformen und dem Einfluss von Humboldt zurück. Im Mittelpunkt stehen i. d. R. dann die Auseinandersetzung der Studierenden mit wissenschaftlichen Verfahren und Ergebnissen. In dieser Lesart ist universitäre Bildung darauf akzentuiert, Studierende auf wissenschaftliche Handlungsfelder vorzubereiten. Aus einer

Außenperspektive werden die Ansprüche der Gesellschaft an universitäre Bildung relevant. In dieser Lesart zielt universitäre Bildung einerseits auf die Vorbereitung der Studierenden auf zukünftige berufliche Handlungsfelder. Es geht um die Teilhabe am Erwerbsleben. Andererseits geht es um die Vorbereitung der Studierenden auf ihre Rolle als verantwortlich agierende Bürger in einer Zivilgesellschaft. Letzteres wird u. a. im Konzept des „Civic Engagment“ aus dem US-amerikanischen Raum betont, in dem es um die Einbettung von gesellschaftlichem Bedürfnissen in Bildungsprozessen geht.

Welcher Bildungsanspruch in einem Studiengang verfolgt wird, ist zwischen den verantwortlichen Hochschullehrenden auszuhandeln. Es gilt dabei, die Binnen- und Außenperspektive miteinander in Bezug zu setzen. Der Bildungsanspruch stellt dann eine Orientierungsschablone für die Gestaltung der universitären Lernumgebungen dar. Es geht um die Entwicklung didaktischer Formate, die kohärent den Bildungsanspruch fördern können. Nachfolgend soll dabei das didaktische Format des Service Learning in den Mittelpunkt rücken, welches das Potenzial hat sowohl die Außen- als auch die Binnenperspektive von universitärer Bildung aufzunehmen und eine Vorbereitung der Studierenden auf ein verantwortliches Handeln in der Zivilgesellschaft ermöglicht.

## **Was ist Service Learning?**

Beim Service Learning wird der Lernprozess der Studierenden mit realen Problemstellungen von



Quelle: Gerholz & Losch 2015, 608

Abb. 1: Didaktische Modellierung Service Learning.

gemeinnützigen Organisationen verbunden. Die Studierenden leisten einen „Service“ an der Gesellschaft und durchlaufen dabei einen „Lernprozess“. Insofern kann Service Learning auch mit Lernen durch Engagement übersetzt werden.

Die Ursprünge des Service Learning liegen im US-amerikanischen Raum und basieren v. a. auf den Arbeiten von Dewey und dessen Vorstellung, dass Bildungsprozesse eine Teilhabe der Lernenden an zivilgesellschaftlichen Prozessen ermöglichen sollen, um sie für ihre Rolle als verantwortliche Bürger in einer Gemeinschaft zu sensibilisieren. Die Teilhabe an zivilgesellschaftlichen Prozessen bekommt nach Dewey dann einen Wert, wenn die durch die Erfahrung erlebten inneren Veränderungen vom Lernenden systematisiert werden. Dewey nennt dieses „reflective experience“, indem die Beziehungen zwischen dem Handeln und seinen Folgen aufgedeckt werden: „To ‚learn from experience‘ is to make a backward and forward connection between what we do to things and what we (.) suffer from things in consequence.“ (Dewey 1966, 140). Bezogen auf die zivilgesellschaftliche Dimension beim Service Learning sollen die Studierenden in der Reflexion angeregt werden, nicht nur die Verbindungen zwischen der Service-Erfahrung und den fachwissenschaftlichen Inhalten des Studiums herzustellen, sondern vielmehr auch thematisieren, inwiefern sich ihr Verständnis zu Wertefragen der Zivilgesellschaft über die Service-Erfahrung entwickelt haben.

Didaktisch gewendet gilt es somit beim Service Learning den Service- und Lernprozess zu betrach-

ten (vgl. Abbildung 1). Während des Service-Prozesses bearbeiten die Studierenden kooperativ mit den Partnern aus den gemeinnützigen Organisationen eine Problemstellung, die in ein konkretes „Serviceergebnis“ mündet. Dies könnte z. B. die Entwicklung eines Marketingkonzeptes für einen Hospizdienst sein.

Der Lernprozess zielt auf die Erschließung der Inhalte des Studiums und die Reflexion der Erfahrungen. Die Lernenden sollen sich auf Basis der Problemstellung wissenschaftliches Wissen und wissenschaftliche Verfahren, die einen Beitrag zur Bewältigung der Problemstellung leisten, erschließen und anwenden. Beim genannten Beispiel könnte dies sein, dass die Studierenden Inhalte des Marketing aus dem Studium auf die konkrete Problemsituation anwenden können.

Die Systematisierung der dabei gemachten Erfahrungen beinhaltet einerseits die Reflexion der Kompetenzentwicklung, indem die Studierenden ausgehend von den fallbasierten Erfahrungen im Serviceprozess ihren Zuwachs an fachlich-methodischen Fähigkeiten strukturieren sowie ihr konzeptionelles und erfahrungsbasiertes Wissen zueinander relationieren. Andererseits geht es um den Aspekt der personalen Entwicklung, indem die Studierenden ein Verständnis und eine Position zu zivilgesellschaftlichen Werten und Herausforderungen entwickeln. Bezogen auf das Beispiel meint dieses, dass die Studierenden nicht nur systematisieren, welches tiefere Verständnis sie bei den Inhalten des Marketings erlangt haben und wie es ihnen gelungen ist, die Inhalte



Quelle: In Anlehnung an Gerholz & Sloane 2013, 21

Studierende des Moduls „Service Learning in den Wirtschaftswissenschaften“ im SS 2015 mit den Partnern aus den gemeinnützigen Organisationen und alten Profis aus Paderborn.

während der Problembearbeitung zur Anwendung zu bringen. Vielmehr geht es auch darum, dass die Studierenden auf Basis ihrer Erfahrungen mit dem Hospizdienst (z. B. früher Tod, gesellschaftliche Teilhabe von sterbenden Menschen, Sinn von Hospizdiensten) eigene Wertevorstellungen und Positionen zum gesellschaftlichen Engagement überdenken und weiterentwickeln.

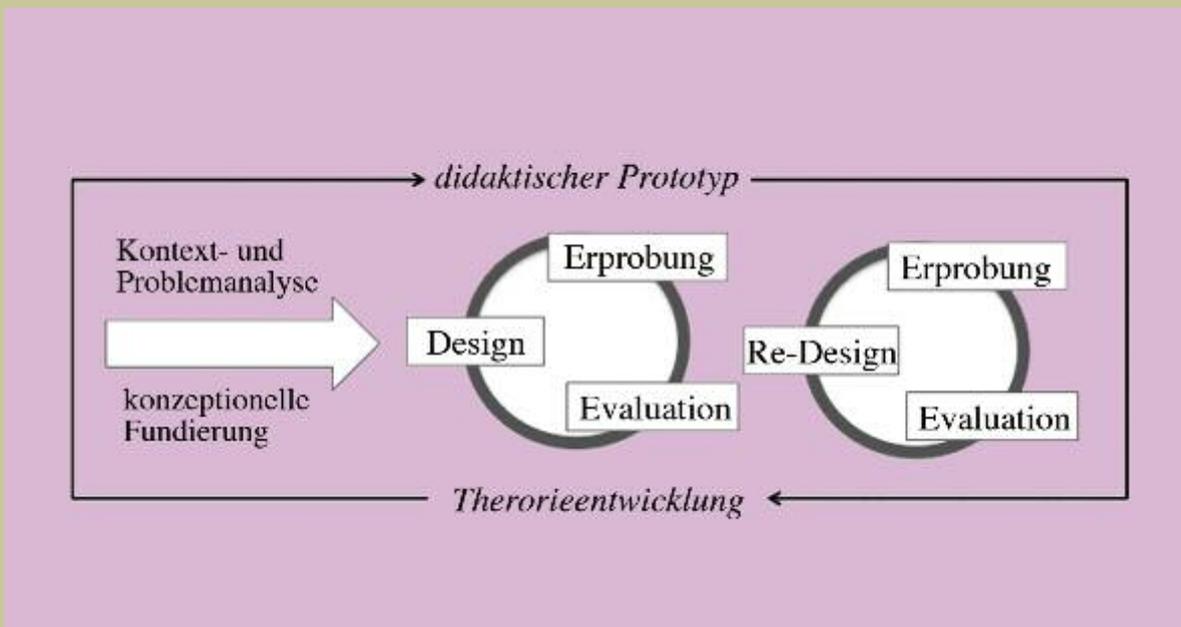
#### **Was bewirkt Service Learning bei Studierenden?**

Yorio & Ye (2012) haben im Rahmen einer Meta-Studie aufgezeigt, dass über Service Learning die Förderung von Problemlösefähigkeiten, sozial-kommunikativen Fähigkeiten und personalen Einsichten zu eigenen und gesellschaftlichen Wertevorstellungen gelingen kann. Vor allem die Selbstwirksamkeit kann durch Service Learning gestärkt werden. Darunter wird das subjektive Empfinden der Studierenden verstanden, neue oder schwierige Anforderungssituationen mit den eigenen Fähigkeiten bewältigen zu können. Weiterhin wird von den Studierenden häufig der subjektive Lernerfolg höher eingeschätzt als durch traditionelle Veranstaltungsformate. Service Learning kann einen Beitrag dazu leisten, dass sich das Selbstbild der Studierenden und die Einstellung zu zivilgesellschaftlichem Engagement ändern. Hinsichtlich der didaktischen Gestaltung zeigen die empirischen Ergebnisse, dass eine curriculare Integration von Service Learning (z. B. als Modul in einem Studiengang) eine stärkere Wirksamkeit entfalten kann als eine extracurriculare Einbettung (z. B. freiwilliges Angebot im Studium) (vgl. zusammenfassend Gerholz & Losch 2015, 609f).

Insgesamt ist die Belastbarkeit der vorliegenden empirischen Ergebnisse – wie häufig in der Lehr-Lernforschung – unterschiedlich, da die untersuchten Service Learning-Kurse in der Regel didaktisch verschieden ausgestaltet sind und somit die Vergleichbarkeit nur bedingt gegeben ist. Die Vieldimensionalität von universitären Lernumgebungen wird in den Studien selten aufgenommen und es bleibt meist unklar, welche didaktischen Gestaltungsparameter zu beachten sind. Zusammenführend ergibt sich somit ein Forschungsbedarf, wie einerseits Service Learning in Studiengängen didaktisch zu gestalten ist und andererseits welche Wirkung auf die Kompetenzentwicklung der Studierenden damit erreicht werden kann. Diese Punkte stellten den Ausgangspunkt des Teilprojektes 3 „Service Learning – Regionalentwicklung durch gesellschaftliches Engagement“ im Bildungscluster OWL ([www.bildungscluster-owl.de](http://www.bildungscluster-owl.de)) dar.

#### **Wie ist das Forschungsdesign im Teilprojekt gestaltet?**

Das Teilprojekt 3 im Bildungscluster OWL basiert auf einen Design Research-Ansatz. Ausgangspunkt von Design Research-Projekten ist die Frage, wie ausgehend von einem didaktischen Gegenstandsbereich – hier die universitäre Bildung – ein verfolgtes Bildungsziel durch eine noch zu entwickelnde didaktische Intervention erreicht werden kann (vgl. Euler 2011). In Design Research-Projekten wird somit Entwicklung und Forschung im realen Bildungskontext miteinander verzahnt, mit dem Ziel didaktische Prototypen zu entwickeln und dahingehend eine Theorieentwicklung vorzunehmen. Im Teilprojekt 3 des Bildungs-



Quelle: In Anlehnung an Gerholz & Sloane 2013, 21

Abb. 2: Design Research-Ansatz.

clusters OWL war die Zielstellung ein Service Learning-Prototyp im Kontext der Bachelor-Studiengänge an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Paderborn zu entwickeln.

Design Research-Projekte strukturieren sich dabei über sogenannte Design-Zyklen, die die Phasen Kontext- und Problemanalyse, konzeptionelle Modellierung der didaktischen Intervention (hier Service Learning-Modul), Entwicklung und Erprobung sowie Evaluation und Theoriegenerierung umfassen (vgl. Abbildung 2). Nachfolgend sollen die Ergebnisse des ersten Design Zyklus vorgestellt werden.

### Wie gestaltete sich der erste Design-Zyklus zum Service Learning?

An der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften gibt es drei Bachelor-Studiengänge, die jeweils eine Assessmentphase (1. bis 2. Sem., Aufbau eines Grundlagenwissens in den Wirtschaftswissenschaften) und eine Profilierungsphase (3. bis 6. Sem., Spezialisierung in ausgewählten Bereichen) umfassen. Darüber hinaus gibt es einen Bereich Methodenmodule, der in der Profilierungsphase zu belegen ist.

Basierend auf der konzeptionellen Fundierung von Service Learning wurde für den Bereich Methodenmodule ein Wahlpflichtmodul „Service Learning in den Wirtschaftswissenschaften“ entwickelt, da hier ein Querschnittsbereich für alle Bachelor-Studiengänge vorliegt. Aus fachwissenschaftlicher Perspektive sollen die Studierenden sich im Modul ein Repertoire zu Verfahren und Methoden der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften aneignen. Ausgangspunkt stellen hierfür wirtschaftswissenschaftliche Problemstellungen

von gemeinnützigen Organisationen der Kommune Paderborn dar. Aufgabe der Studierenden ist es, basierend auf den Problemstellungen der gemeinnützigen Organisationen, das Erkenntnisinteresse zu bestimmen, entsprechende Methoden zur Bearbeitung auszuwählen und diese auf die Problemstellung anzuwenden sowie auf Basis der Ergebnisse Lösungen für die gemeinnützigen Organisationen zu entwickeln. Hinsichtlich der didaktischen Gestaltung werden die Studiengruppen durch Inputphasen zum Aufbau von Forschungsprozessen und Methoden in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Beratungsphasen zur Verknüpfung der Inhalte des Moduls mit den Serviceprojekten sowie Präsentations- und angeleiteten Reflexionsphasen begleitet. In den Reflexionsphasen sollen die Studierenden Potenziale und Grenzen der eingesetzten Methoden systematisieren und ihr gemeinnütziges Handeln vor dem Hintergrund der Relevanz von zivilgesellschaftlichem Engagement reflektieren. Das Modul wurde erstmalig im Sommersemester 2014 umgesetzt. Insgesamt haben 36 Studierende mit sechs unterschiedlichen gemeinnützigen Organisationen zusammengearbeitet (Tabelle 1).

### Wie ist die Methodik der Evaluation des ersten Design-Zyklus?

Das Interesse in der Evaluation des ersten Design-Zyklus lag in der Beschreibung der Wirksamkeit des Service Learning-Moduls auf die erlebte Fähigkeitsentwicklung der Studierenden. Hierzu wurde ein Mixed Method-Ansatz, d. h. eine Verbindung von quantitativen und qualitativen Datenformaten, verwendet, um ein Verständnis für die didaktische Gestaltung mit der erlebten Verände-

| gemeinnützige Organisation         | Ziel Service-Projekt   | Methode der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften |
|------------------------------------|--|---|
| Caritasverband Paderborn e. V.     | Entwicklung einer Fundraising-Toolbox für den Caritasverband | Fragebogen mit offenen Fragen                     |
| International Christian Fellowship | Sozialmarketing bei ICF: Warum für die Kirche spenden?       | Fragebogen mit geschlossenen Fragen               |
| Verein MINT Technikum              | Bedarfsanalyse für den Verein MINT-Technikum                 | fokussierte Interviews                            |
| Marktplatz für Bürger-Engagement   | Strategiekonzept für Marktplatz für Bürger-Engagement        | Fragebogen mit offenen Fragen                     |
| gemeinnütziges Berufskolleg BAJ    | Personalentwicklung von Lehrenden                            | Teilnehmende Beobachtung                          |
| AlarmTheater e. V.                 | Sponsoring-Konzept für das AlarmTheater                      | SWOT-Analyse/Dokumentenanalyse                    |

Tabelle 1: Übersicht Service-Projekte und gemeinnützige Organisation im Modul „Service Learning in den Wirtschaftswissenschaften“ im Sommersemester 2014.

rung der Fähigkeiten der Studierenden zu generieren. Die quantitativen Datenformate wurden in einem Prä-Post-Design erhoben indem die Studierenden jeweils in der ersten Modulsitzung (t1) und der letzten Modulsitzung (t2) einen standardisierten Fragebogen (u. a. Erfassung Selbstwirksamkeit und Engagementeinstellung) ausfüllten (n = 36). Am Ende des Moduls wurden qualitative Datenformate in Form problemzentrierter Interviews mit jeweils zwei Studierenden aus den jeweiligen Serviceprojekten (n = 10) erhoben und inhaltsanalytisch ausgewertet.

Das Design der Erhebung und die Auswertung der Ergebnisse wurden gemeinsam in einem Forschungsteam aus der Wirtschaftspädagogik und der Psychologie durchgeführt (vgl. dazu ausführlich Gerholz, Liszt und Klingsieck 2015). Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse zur Veränderung der Selbstwirksamkeit und der Einstellung zum zivilgesellschaftlichen Engagement vorgestellt, da diese Kernelemente des Service Learnings widerspiegeln.

**Was sind die Befunde zur Selbstwirksamkeit?**

Selbstwirksamkeit meint das subjektive Empfinden, Anforderungssituationen mit den eigenen Fähigkeiten bewältigen zu können. Die quantitativen Daten zeigen, dass die Selbstwirksamkeit sich über die Zeit signifikant erhöht (F (1,26) = 6.99, p < .05, η2 = .210), hier aber neben den moderaten

Zeiteffekten auch Gruppeneffekte zu beobachten sind (F (5,26) = 4.10, p < .01, η2 = .44). Letzteres illustriert, dass die Veränderung der Selbstwirksamkeit abhängig vom Serviceprojekt bzw. der Gruppenarbeit ist.

Die Frage ist nun, in welchen Bereichen sich die Selbstwirksamkeit der Studierenden verändert. Hierfür zeigen die qualitativen Datenformate im Ergebnis auf, dass die Studierenden die erlebte Selbstwirksamkeit auf zwei Bereiche beziehen: Einerseits den Prozess der Problembearbeitung (Serviceprozess) und andererseits die Erschließung der fachwissenschaftlichen Inhalte (Lernprozess).

Im Serviceprozess unterscheiden die Studierenden zwischen der Strukturierung des Prozesses (Ankerzitat: „Also am Anfang waren wir ein bisschen überfordert, da Struktur reinzubringen und im Laufe dessen hat sich das ganz gut entwickelt“ SG2, 75–76), der dabei erlebten sozialen Unterstützung (Ankerzitat „Ja mit dem Kooperationspartner wurde es nachher (.) schwierig“ SG3, 57–63) sowie dem Ergebnis im Serviceprozess (Ankerzitat: „Wir haben etwas Produktives erschaffen, was auch durchaus hilfreich sein kann.“ SG2, 110–111).

In Gesamtbetrachtung der Daten zeigt sich dabei, dass v. a. die erlebte soziale Unterstützung von Kommilitonen, Akteuren in den gemeinnützigen Organisation oder den Lehrenden im Modul einen

positiven Einfluss auf die erlebte Selbstwirksamkeit im Serviceprozess haben.

Im Lernprozess unterschieden die Studierenden zwischen den Inputsequenzen im Modul (Ankerzitat „Ja das haben wir ja hier in der Vorlesung gelernt wie man das macht.“ SG2, 155–156), den Beratungssequenzen („also ich finde es sowieso sinnvoller, dass (der Dozent, K.H.G.) sich mit den Gruppen nochmal einzeln getroffen hat. Um dann wirklich auf die Probleme der einzelnen Gruppen einzugehen“ SG3, 425–426) und der Anwendung der Inhalte (Ankerzitat: „Man ist besser aufgehoben, wenn man es dann selber ausprobert“ SG 2, 211–212). Im Ergebnis werden von den Studierenden v. a. den Beratungssequenzen, in denen die Verknüpfung zwischen fachwissenschaftlichen Inhalten und Anforderungen im Serviceprozess im Mittelpunkt standen, und Möglichkeit der konkreten Anwendung der Inhalte ein größerer Lerneffekt zugeschrieben.

### **Was sind die Befunde zum zivilgesellschaftlichen Engagement?**

Die Studierenden wurden in der Befragung und in den Interviews hinsichtlich ihrer erlebten Veränderung der Einstellung zum zivilgesellschaftlichen Engagement gefragt. Auch hier zeigt sich ein signifikanter Effekt über die Zeit ( $F(1,26) = 5.91, p < .05, \eta^2 = .190$ ), wonach sich die Einstellung zum zivilgesellschaftlichen Engagement positiv verändert. Die qualitativen Befunde geben dabei Hinweise, dass die Einstellung zu zivilgesellschaftlichem Engagement sich im Modul über drei Bereiche erstreckt: (1) Einblicke in gemeinnützige Handlungsfelder, (2) Entwicklung einer Position zu gesellschaftlichem Engagement und (3) Veränderung Engagementeinstellung.

Nahezu alle Studierenden berichteten in den Interviews, dass sie über das Modul Einblicke in gemeinnützige Handlungsfelder bekommen haben (Ankerzitat: „Ich finde es wird einem deutlich, dass es halt wirklich Menschen gibt (...) die auf ehrenamtliche Arbeit angewiesen sind.“ SG3, 280–282). Diese Einblicke sind meist auch der Ausgangspunkt einer Positionsentwicklung, die von der Erkennung der Relevanz von Engagement (Ankerzitat: „Wir haben mal gesagt in der Gruppe, ohne ehrenamtliche Tätigkeit gibt es für uns keine funktionierende Gesellschaft.“ SG4, 360–362) bis hin zu normativen Positionen (Ankerzitat: „Ich find das sehr wichtig, dass sich eigentlich der Einzelne gesellschaftlich einbringt.“ SG1, 442–444) reichen. Hinsichtlich der Engagementeinstellung gibt es unterschiedliche Wahrnehmungen der Studierenden, welche sich von der Bestätigung bisherigen Engagements bis zur erhöhten Bereitschaft durch das Modul erstrecken (Ankerzitat: „dass ich auch versuchen werde jetzt, wenn ich

die Uni verlasse, dass ich dann mich auch irgendwo noch einsetzen werde. (...) Das hat sich durch das Modul echt grundlegend geändert.“ SG4, 49–54).

Zusammenführend zeigt sich, dass eine Einstellungsänderung zum Engagement unterschiedliche Akzentuierungen aufzeigt. Dabei kann v. a. das Element der Entwicklung einer Position zu gesellschaftlichen Engagement als ein Hauptanliegen des Service Learning-Konzeptes herausgestellt werden.

### **Welche Rückschlüsse lassen sich für die didaktische Gestaltung ableiten?**

Aus didaktischer Perspektive zeigen die Ergebnisse der Evaluation des ersten Design-Zyklus auf, dass die Wirkung des Service Learning-Moduls einerseits im Zusammenhang mit der Verknüpfung der service- und lernorientierten Aktivitäten und andererseits mit der wahrgenommenen sozialen Unterstützung steht.

Ersteres weist auf den Aspekt hin, inwiefern es in der didaktischen Gestaltung eines Service Learning-Modules gelingt, die Lerninhalte mit dem Serviceprozess zu verknüpfen. Die empirischen Ergebnisse der vorgestellten Studie illustrieren, dass die Studierenden hier die beratungsorientierten Lernformen als gewinnbringend empfanden. Vor allem in Hinblick auf die Strukturierung des Prozesses der Problembearbeitung und der Integration der fachwissenschaftlichen Inhalte (z. B. Problemeingrenzung, Planung und Umsetzung der Datenerhebung und -auswertung) sind Beratungssequenzen ein relevanter Gestaltungsfaktor im Service Learning. Die erlebten Herausforderungen der Studierenden können darüber hinaus auch damit zusammenhängen, dass Studierenden mentale Lernmodelle fehlen, in denen die Bearbeitung realer Probleme im Vordergrund steht. Auch hierfür können die beratungsorientierten Lernformen ein zielführendes Element sein, wenn es u. a. darum geht, die erlebten Herausforderungen didaktisch zielgruppengerecht zu reduzieren.

Hinsichtlich der wahrgenommenen sozialen Unterstützung illustrieren die Ergebnisse, dass das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Akteuren – gemeinnützige Organisation, Lehrende und Studierende – einen Einfluss auf die Wirksamkeit des Service Learning-Moduls hat. Die unterschiedlichen Rollen der Akteure sollten zu Beginn dargestellt werden, u. a. dahingehend, welche Unterstützung möglich ist. So wird in den Interviews von den Studierenden z. T. die gering wahrgenommene Unterstützung seitens der gemeinnützigen Organisationen erwähnt, gleichzeitig aber nicht formuliert, welche Unterstützung sich die Studierenden vorgestellt haben. Hierbei zeigt sich die Wichtigkeit der Sensibilisierung der Akteure für

ihre Rollen: Service Learning zielt auf eine partnerschaftliche Lernerfahrung.

Die Hinweise zur didaktischen Gestaltung aus der Evaluation des ersten Design-Zyklus wurden bei der Überarbeitung des Moduls berücksichtigt. So wurden u. a. die Problemstellungen der gemeinnützigen Organisationen für die Studierenden-Gruppen didaktisch stärker strukturiert und Methoden des Projektmanagements zur Koordination der Projektarbeiten bereitgestellt. Die Beratungssequenzen im Modul wurden ausgebaut und die Inputsequenzen vermehrt über Selbstlernphasen organisiert. Das Modul wurde im Sommersemester 2015 zum zweiten Mal mit über 100 Studierenden und elf unterschiedlichen gemeinnützigen Organisationen angeboten. Die Evaluation der darin erhobenen Daten wird gerade vorgenommen.

### **Und lohnt sich nun Service Learning für die universitäre Lehre?**

Das didaktische Format Service Learning befindet sich im deutschsprachigen Raum in der Entwicklung. Es bietet das Potenzial, den Bildungsanspruch der Förderung einer wissenschaftlichen Problemlösefähigkeit in Verbindung mit sozialen Bedürfnissen in einer Kommune zu fördern. Inwiefern Service Learning ein gangbarer didaktischer Weg für universitäre Bildung ist, muss jeweils vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Fachkulturen und Studiengangkontexte entschieden werden. Hierbei wäre es auch denkbar, ganz andere Arrangements von Service Learning als das vorgestellte Modul umzusetzen. Es bietet sich die Möglichkeit, über Service Learning das Repertoire an didaktischen Formaten in der universitären Bildung zu erweitern. Allerdings bedeutet die langfristige Implementation eine didaktische Entwicklungsarbeit. Der vorgestellte Ansatz des Design Researchs bietet dabei die Möglichkeit, kontextsensitive Prototypen zu entwickeln, welche sich nachhaltig in eine Studiengangstruktur einbetten.

### **Literatur**

DEWEY, J. (1966). DEMOCRACY AND EDUCATION. NEW YORK: FREE PRESS.

EULER, D. (2011). WIRKUNGS- VS. GESTALTUNGSFORSCHUNG – EINE FEINDLICHE KOEXISTENZ? IN ZEITSCHRIFT FÜR BERUFS- UND WIRTSCHAFTSPÄDAGOGIK (2011), 4, 520–542.

GERHOLZ, K.-H., LISZT, V. & KLINGSIECK, K. B. (2015): DIDAKTISCHE GESTALTUNG VON SERVICE LEARNING – ERGEBNISSE EINER MIXED METHODS-STUDIE AUS DER DOMÄNE DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN. IN: BWP@ BERUFS- UND WIRTSCHAFTSPÄ-

DAGOGIK – ONLINE, AUSGABE 28, 1–23.

GERHOLZ, K.-H. & LOSCH, S. (2015): CAN SERVICE LEARNING FOSTER A SOCIAL RESPONSIBILITY AMONG STUDENTS? – A DIDACTICAL ANALYSIS AND EMPIRICAL CASE-STUDY IN BUSINESS EDUCATION AT A GERMAN UNIVERSITY. IN: O’RIORDAN, L., HEINEMANN, S. & ZMUDA, P. (EDS.), NEW PERSPECTIVES ON CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY: LOCATING THE MISSING LINK, 602–622.

GERHOLZ, K.-H. & SLOANE, P. F. E. (2013): STUDIENGANG- UND MODULENTWICKLUNG – AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN UND POTENTIALE ZUR FORSCHUNGSORIENTIERTEN GESTALTUNG. IN: GERHOLZ, K.-H. & SLOANE, P. F. E. (HRSG.): STUDIENGÄNGE ENTWICKELN – MODULE GESTALTEN. EINE STANDORTBESTIMMUNG NACH BOLOGNA. PADERBORN 2013, 5–28.

YORIO, P. L. & YE, F. (2012). A META-ANALYSIS ON THE EFFECTS OF SERVICE-LEARNING ON THE SOCIAL, PERSONAL, AND COGNITIVE OUTCOMES OF LEARNING. ACADEMY OF MANAGEMENT LEARNING & EDUCATION, 11(1), 9–27.

#### **Kontakt**

**Jun.-Prof. Dr. Karl-Heinz Gerholz**

**Fakultät für Wirtschaftswissenschaften**

**Wirtschaftspädagogik,  
insb. Hochschuldidaktik und Hochschulentwicklung**

**05251 60-2370**

**gerholz@wiwi.upb.de**



**19 Jahre**

1998 bis 2016

# FORSCHUNGS FORUM

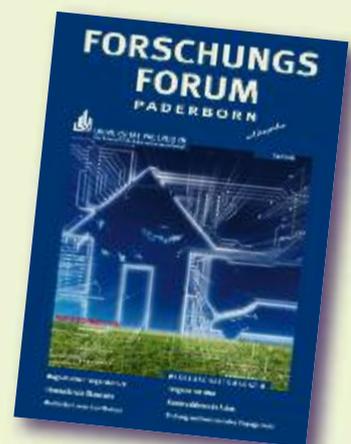
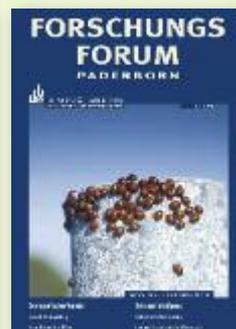
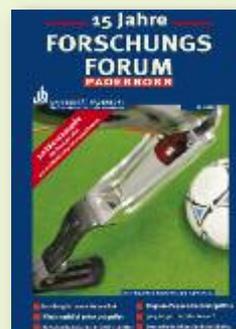
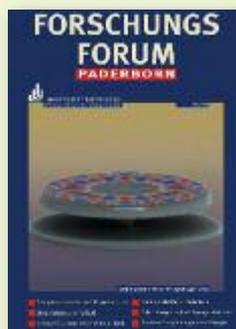
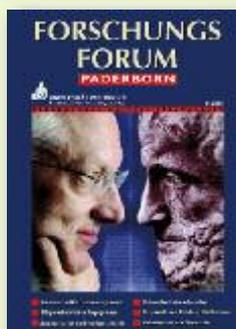
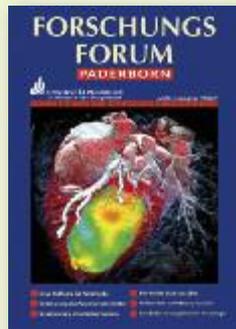
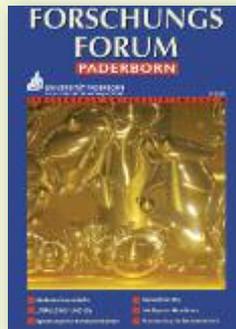
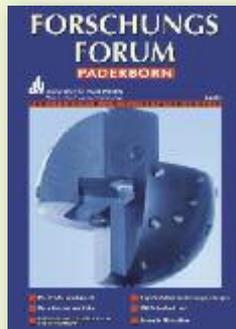
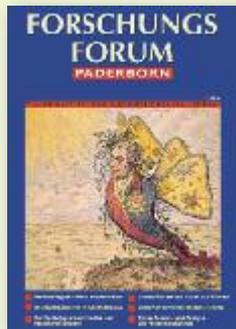
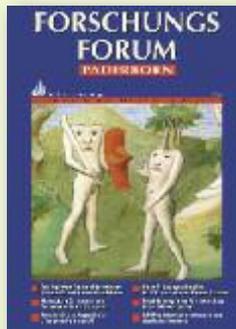
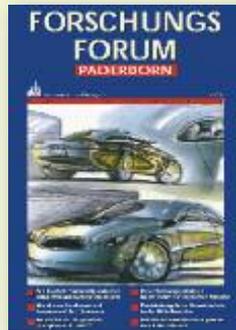
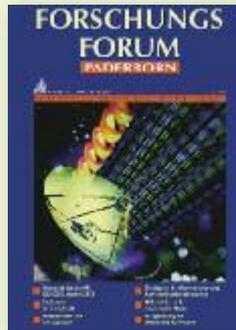
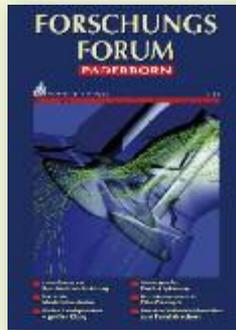
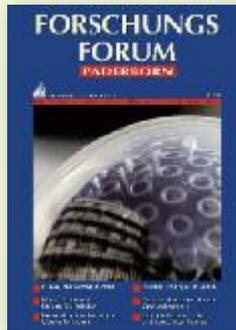
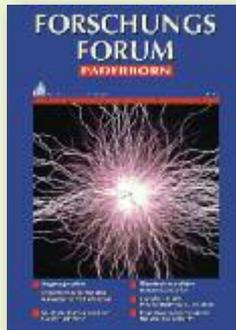
**PADERBORN**

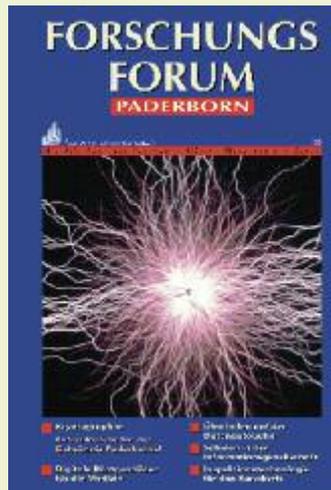
**Alle Themen im Überblick**

AUSGABE 1 BIS 19



**UNIVERSITÄT PADERBORN**  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*





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, Ge-  
 schichte, Geographie, Religions- und Gesellschaftswissenschaften

### Schulen in der Informationsgesellschaft

Medienkonsum als pädagogisches Problem – Medienerzie-  
 hung als unterrichtliche Aufgabe  
 Prof. Dr. phil. Gerhard Tulodziecki, Fachbereich 2/Erziehungswis-  
 senschaft, 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 Wett-  
 bewerb  
 Prof. Dr.-Ing. Walter Jorden, Dipl.-Ing. Joachim Niewels,  
 Fachbereich 10/Maschinentechnik

### Überholen auf der Datenbahn

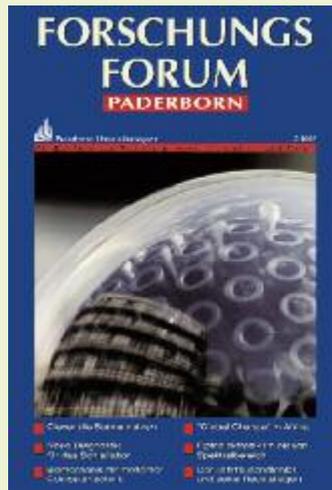
Ausbau der Telekommunikationsnetze mit modernen Techni-  
 ken der Nachrichtenübertragung  
 Dipl.-Phys. Ulrich Rust, Prof. Dr.-Ing. Reinhold Noè, Fachbereich  
 6/Physik und Fachbereich 14/Elektrotechnik und Informationstechnik

### 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 Heinse (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

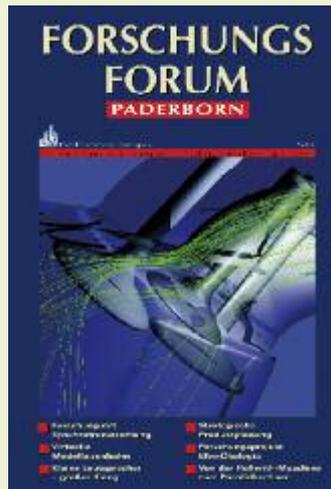
Beispiel eines gelungenen Transfers von Grundlagenforschung in die industrielle Praxis  
*Prof. Dr. rer. nat. Klaus Herrmann, PD Dr. rer. nat. Wolfgang H. Müller, Fachbereich 10/Maschinentechnik*

### 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 Jaraí, 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. Taïeb Mellouli, Dipl.-Wirt.-Inform. Johannes Goecke, Fachbereich 5/Wirtschaftswissenschaften*

**Standort Deutschland**

Eine langfristige Strategientwicklung 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 Heseke, 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

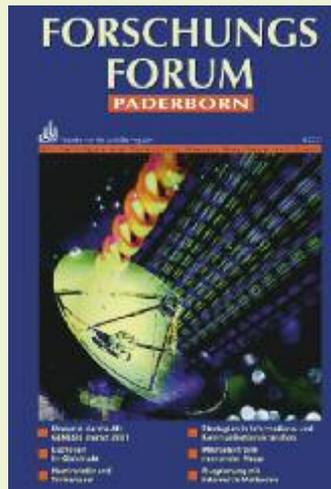
Eine Herausforderung für Mathematik und Informatik  
*Prof. Dr. rer. nat. Reimund Rautmann, Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Borchers, Dipl.-Math. Stephan Blazy, Dipl.-Math. Ralph Bruckschen, Dipl.-Math. Serge Kräutle, Dr. Nicole Roß, Dipl.-Math. Kerstin Wielage, Fachbereich 17/Mathematik – Informatik*

### 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 automobiler 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 Fahle, Dipl.-Inform. Silvia Götz, Dipl.-Inform. Sven Grothklags, Dipl.-Inform. Georg Klierer, 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

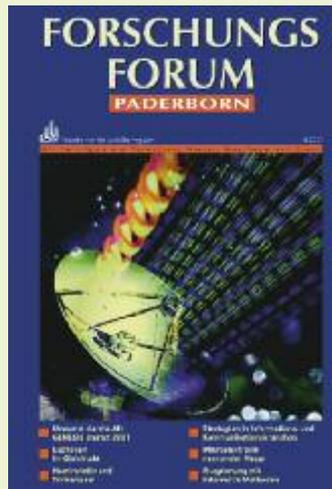
Optimierung mittels Computer-Simulationen

*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*

### **Erdtangente und Stille Post**

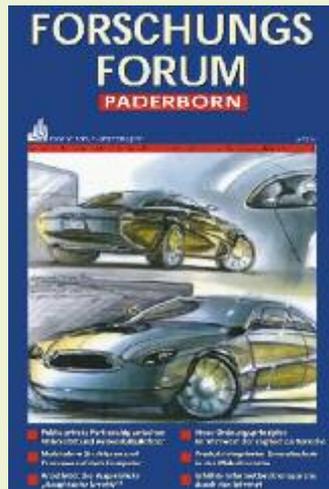
Eine Retrospektive mit sechs künstlerischen Arbeiten und drei kleinen Texten

*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 Würdenweber, 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

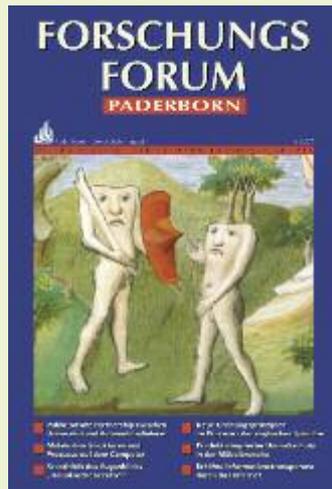
Umwelt Boden: darauf stehen wir

*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 Häb-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-Lieb Gott, Fakultät für Kulturwissenschaften*

### Pentacen – Kunststoff für Transistoren

Neuartige Halbleiter Gegenstand intensiver Forschung

*Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hilleringmann, Dipl. Phys. Christoph Pannemann, 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

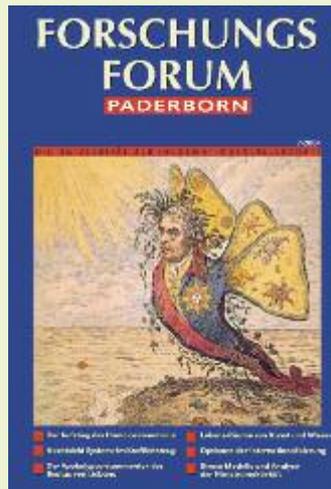
Über den Nutzen und die Struktur kristalliner Fehlstellen

*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 und 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)

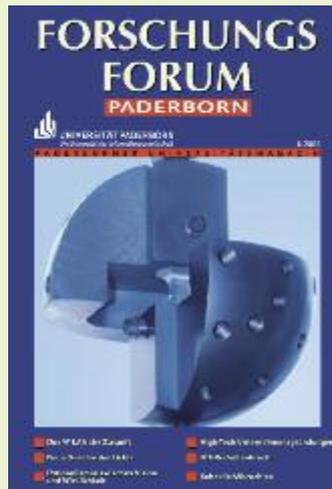
Untersuchung der Wirkung funktioneller Lebensmittel

*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

*Dipl.-Psych. 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 Schindelbauer, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik*

### ICE-Radreifenbruch

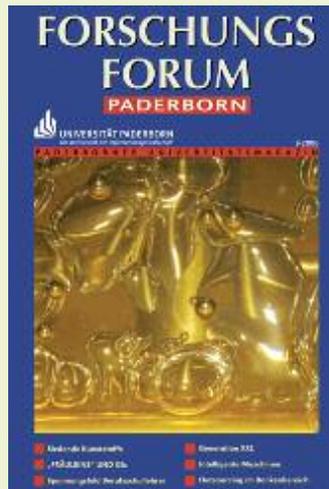
Bruchmechanik trägt zur Klärung der Schadensursache bei  
*Prof. Dr.-Ing. Hans Albert Richard, Fakultät für Maschinenbau*

### 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

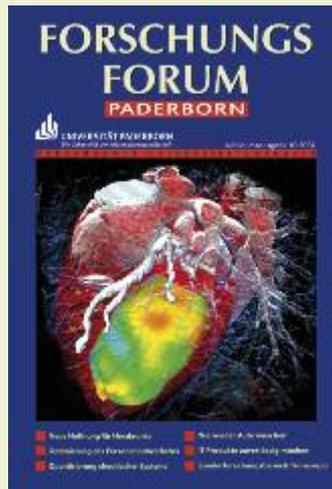
Der Aufbruch in die Welt der Quanten  
*Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner, Fakultät für Naturwissenschaften*

### Selbstopтимierung 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 Geschichts-  
konstruktion

*Prof. Dr. phil. Frank Göttmann, Prof. Dr. phil. Dietmar Klenke,  
Prof. Dr. phil. Jörg Jamut, 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 Pader-  
born (CeOPP)

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

### Funktional gradierte Materialien und Strukturen

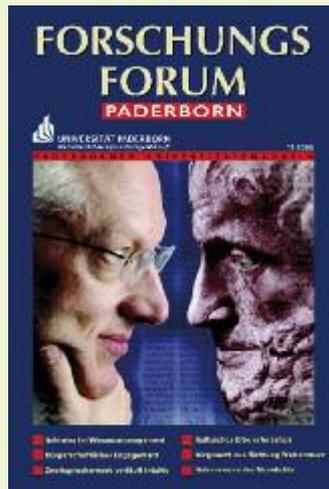
Neuer Sonderforschungsbereich im Maschinenbau

*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**

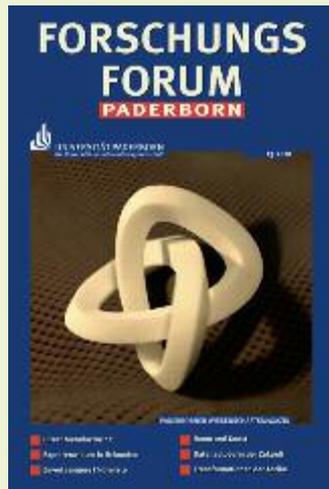
Charakterisierung neuartiger Materialien durch Computersimulation

*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 Heseker, 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

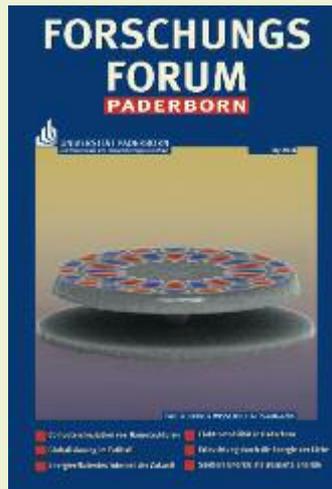
Wahrnehmung und Transformation von Raum in Malerei, Bildhauerei und Museumsarchitektur  
*Prof. Dr. Sabiene Autsch, Prof. Dr. Sara Hornäk*

### 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 Knetzer

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, M. A. Tobias Zenker

### Ein traumhaftes Buch: Die Hyperotomachia 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

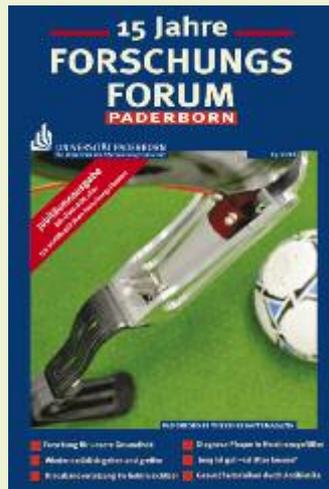
Neue Architekturen und Optimierungen senken Kosten

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

### 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)

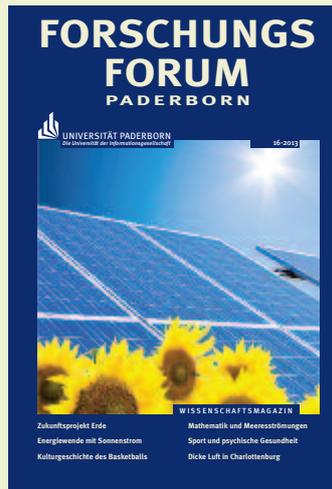
Analyse studentischer Lebensstile  
*Prof. Dr. Hans Peter Brandl-Bredenbeck,  
 Dr. Astrid Kämpfe, Dipl.-Sportwiss. Carolin Köster*

### 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 Rehabilitations-  
 programme  
*Dr. rer. medic. Jochen Baumeister*



FFP 16/2013

### **Amerika auf dem Weg zum Korb**

Die Kulturgeschichte des Basketballs  
*Prof. Dr. phil. Christoph Ribbat*

### **Dicke Luft in Charlottenburg und Lichtenberg**

Umweltgeschichte und historische  
 Umweltkonfliktforschung um 1900  
*Prof. Dr. rer. nat. et phil. habil. Peter E. Fäßler*

### **ContainerRailCab**

Die Alternative zum LKW-Transport im Hamburger Hafen  
*Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler,  
 Dr.-Ing. Franz-Barthold Gockel,  
 Dipl.-Math. Carsten Rustemeier*

### **Mit Mathematik die Weltmeere erkunden**

Von Gummi-Enten und Meeresströmungen  
*Prof. Dr. rer. nat. Michael Dellnitz,  
 Dipl.-Math. Christian Horenkamp*

### **Sport und psychische Gesundheit**

Sport- und Bewegungstherapie mit depressiven Patienten  
*Prof. Dr. Matthias Weigelt,  
 Dipl. Sportwiss. Andre Berwinkel*

### **Energiewende mit Sonnenstrom**

Herausforderungen – Kosten, Ertrag, Netz- und  
 Verbrauchsanpassung  
*Prof. Dr.-Ing. Stefan Krauter*

### **Über die Lösung riesiger Streuprobleme**

Wie kann man zerstörungsfrei den inneren Aufbau eines  
 Gegenstandes rekonstruieren?  
*Prof. Dr. rer. nat. Andrea Walther*

### **Informationstechnik spart Ressourcen**

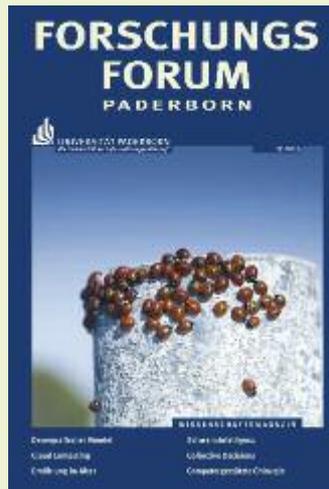
Industriennahe Informatik-Labore setzen auf Modelle  
*Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels, Dr. Christian Gerth,  
 Dr. Bernd Kleinjohann, Dr. Lisa Kleinjohann,  
 Dr. Wolfgang Müller, Dr. Stefan Sauer*

### **Widerstand gegen fremde Herrscher**

Fremdenhass und Gewalt im späteren Mittelalter  
*Prof. Dr. Hermann Kamp,  
 Dr. Katrin Beyer,  
 Dr. des. Lukas Wolfinger*

### **Aus Simulationen lernen**

Wissensbasiert steuern  
*Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Dangelmaier,  
 M. Sc. Alexander Klaas,  
 Dr. Christoph Laroque*



FFP 17/2014

### **Kollektive Entscheidungen**

Eine Analyse dezentraler Entscheidungsprozesse

*Heiko Hamann*

### **Wenn Essen und Trinken im Alter beschwerlich werden**

Verbreitung, Ursachen und Folgen von Ernährungsproblemen bei Seniorinnen und Senioren in Deutschland

*Helmut Heseke und Katrin Uhlig*

### **CloudScale – Skalierbarkeit für die Cloud**

CloudScale unterstützt die Entwicklung von kostengünstiger Cloud-Software

*Sebastian Leurig und Steffen Becker*

### **Neue Anwendungsgebiete für Computer Assisted Surgery (CAS)**

Intelligente Bildverarbeitung ermöglicht Einsatz von CAS in Notfalloperationen

*Peter Schreier*

### **Technologien und Marken – gleich und gleich gesellt sich gern**

Die Bedeutung der Markenpersönlichkeiten bei der Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien

*Nancy V. Wunderlich und Laura Kellner*

### **Aufrichtigkeit: Zur Genese einer bürgerlichen Tugend**

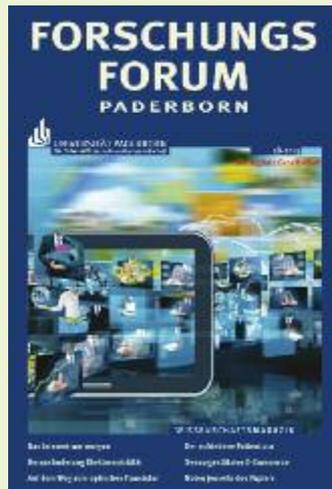
Ein gesellschaftliches Ideal im Spiegel der Kultur und Literatur des 18. Jahrhunderts

*Simon Bunke*

### **Aufarbeitung der jüdischen Geschichte**

Historisches Handbuch der jüdischen Gemeinschaften in Westfalen und Lippe

*Frank Göttmann*



FFP 18/2015

### **Herausforderung Elektromobilität**

Erhöhung der Reichweite elektrisch angetriebener Fahrzeuge

*Joachim Böcker, Lukas Keuck, Wilhelm Peters und Oliver Wallscheid*

### **Der zufriedene Patient 2.0**

Analyse anonymer Arztbewertungen zur Generierung eines Patientenstimmungsbildes

*Michaela Geierhos und Sabine Schulze*

### **Auf dem Weg zum optischen Transistor**

Optische Muster in Halbleiternanostrukturen: grundlegende Physik, numerische Simulationen und Experimente

*Stefan Schumacher*

### **100 Gigabit pro Sekunde und mehr für das drahtlose Hochgeschwindigkeits-Internet**

Neue Verfahren zur ultraschnellen Datenübertragung für das Internet von morgen

*J. Christoph Scheytt und Abdul Rehman Javed*

### **Sensorgestütztes E-Commerce – die nächste Generation?**

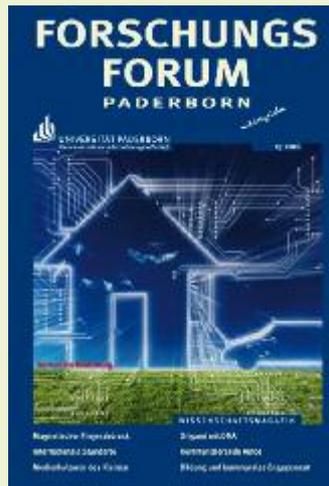
Auf welche Technik des Bürgers sollte sich der Handel einstellen?

*Joachim Fischer und André Wickenhöfer*

### **Noten jenseits des Papiers**

Zur Entwicklung von Werkzeugen für die Digital Humanities im Bereich der Musikedition

*Joachim Veit*



FFP 19/2016

**Die vernetzte Wohnung**

Komfortabel, kompatibel und sicher  
 Von Johannes Blömer und Holger Funke

**Origami mit DNA**

Funktionale Nanostrukturen gefaltet aus einzelnen Molekülen  
 Von Adrian Keller

**Stromverluste in Siliziumsolarzellen aufklären**

Defektnachweis durch magnetischen Fingerabdruck  
 Von Wolf Gero Schmidt und Uwe Gerstmann

**Medienkulturen des Kleinen**

Warum es lohnt, sich mit Reiskörnern und Blütenstaub, Notizen, Zetteln und Zellen zu beschäftigen  
 Von Claudia Öhlschläger und Sabiene Autsch

**Mit Car-to-X in die Zukunft**

Kommunizierende Autos für automatisierte kooperative Fahrmanöver  
 Von Falko Dressler und Christoph Sommer

**Auswahl internationaler Standorte**

Wie lassen sich Standortentscheidungen methodisch unterstützen?  
 Von Stefan Betz

**Universitäre Bildung und kommunales Engagement**

Illustriert an einem Design Research-Projekt zum Service Learning  
 Von Karl-Heinz Gerholz

**19 Jahre****ForschungsForum Paderborn**

Alle Themen im Überblick



