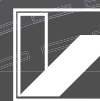


# SPEKTRUM



UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

II. JAHRGANG • AUSGABE 2 • NOVEMBER 2015

## NEUE MATERIALIEN

### Werkstoffdesign der Zukunft

SEITEN 34-37

## ÖKOLOGIE & UMWELTWISSENSCHAFTEN

### Die Erde aus der Ferne

SEITEN 42-45

## INNOVATION & VERBRAUCHERSCHUTZ

### Die Vermessung des Selbst

SEITEN 54-57

# Digitalisierung

## Zukunft Realität werden lassen

# Liebe Leserinnen und Leser,



Prof. Dr. Stefan Leible,  
Präsident der Universität  
Bayreuth.

**A**ls die Universität Bayreuth vor 40 Jahren ihren Lehrbetrieb aufnahm, war die Digitalisierung, wie wir sie gegenwärtig erleben, nicht einmal eine Vision: Die rasanten technologischen Fortschritte, die durch diese vielfach als „Revolution“ bezeichnete Entwicklung ermöglicht und angetrieben wurden, waren schlichtweg unvorstellbar. Heute durchdringen sie nahezu alle Lebensbereiche und entfalten auch in der Wissenschaft eine ungeahnte Dynamik.

Mit der neuen SPEKTRUM-Ausgabe wollen wir Ihnen einen Eindruck davon vermitteln, wie die Digitalisierung im 21. Jahrhundert neue Impulse für Forschung und Lehre setzt. Die interdisziplinär ausgerichteten Profildfelder unserer Universität bieten dafür eindrucksvolle Beispiele – sei es in der Polymerforschung, der Energietechnik, den Umweltwissenschaften, im Sport oder in den Afrikastudien. An manchen Stellen werden Sie nicht zufällig auch Querverbindungen zwischen einzelnen Beiträgen entdecken. Denn es sind oftmals dieselben Erkenntnisse und Innovationen, beispielsweise auf dem Gebiet der Computersimulationen, die sich in den Forschungsergebnissen und -zielen unterschiedlicher Disziplinen widerspiegeln.

Wie alle Revolutionen, geht also auch die Digitalisierung aufs Ganze. Und genau deshalb ist die Universität Bayreuth mit der breiten Vielfalt und der gezielten Vernetzung ihrer forschungstarken Disziplinen bestens aufgestellt, um die neuen Entwicklungen kreativ und verantwortungsbewusst mitgestalten zu können – in der Zusammenarbeit von Forschenden, Lehrenden und Studierenden auf dem Campus und als engagierter Partner für Wirtschaft und Gesellschaft. Neugier, Mut und das Vertrauen in die Werte einer freiheitlichen Wissensgesellschaft werden uns dabei leiten.

Lassen wir uns von der Zukunft inspirieren!

Mit herzlichem Gruß,

Ihr

Prof. Dr. Stefan Leible  
Präsident der Universität Bayreuth

## Weitere SPEKTRUM-Ausgaben

Auf der Homepage der Universität Bayreuth finden Sie unter anderem auch die vorigen SPEKTRUM-Ausgaben zu den folgenden Themen:

- 1/2015: Kulturbegegnungen und transkulturelle Prozesse
- 2/2014: Energie
- 1/2014: Recht und Moral
- 1/2013: Lebensmittel- und Gesundheitswissenschaften

- [www.neu.uni-bayreuth.de/de/Uni\\_Bayreuth/Startseite/presse/spektrum/](http://www.neu.uni-bayreuth.de/de/Uni_Bayreuth/Startseite/presse/spektrum/)

**D**as Thema Digitalisierung nimmt derzeit breiten Raum in den Wirtschaftsteilen und Feuilletons, in Festreden und politischen Agenden ein. Dabei geht es vor allem um die Selbstverständlichkeit, mit der wir Mobiltelefone, Wikipedia, Navigationssysteme, Facebook und Google in unseren Alltag integrieren. Diese Technologien verändern unmerklich unseren alltäglichen Umgang miteinander. Wen wir als Freund bezeichnen, wem wir vertrauen, woher wir glaubhafte Informationen bekommen und von wem wir lernen, ist kein Thema von Automatisierung oder Industrie 4.0 – aber es ist zentral für die Digitalisierung. Der Informationsraum, der uns umgibt, wird ein sozialer Handlungsraum: Wir kommunizieren, befreunden, verlieben und streiten uns dort, wir diskutieren Ideen, folgen Themen und bieten selber Wissenswertes an. Verglichen mit früher, ohne Internet, wird unsere Umgebung größer, komplexer und unübersichtlicher – auch risikoreicher.

Aber dieser Informationsraum bietet zugleich Chancen und neue Möglichkeiten: für Lernende und Studierende, Innovatoren und schöpferische Zerstörer, Unternehmensgründer und Unternehmungslustige. Innovationen, die aus der Digitalisierung hervorkommen und uns beeindrucken, schöpfen ihre gestalterische Kraft daraus, wie sie Menschen zusammen bringen und es ihnen ermöglichen, sich miteinander zu vernetzen.

Gerade auch in diesem Sinne will die Universität Bayreuth ein Zentrum für Innovationen sein: ein Ort, der Menschen mit verschiedensten Talenten, Interessen und Lebensentwürfen verbindet und fördert und dafür eine leistungsfähige Infrastruktur bereitstellt. Diese SPEKTRUM-Ausgabe macht deutlich, welche erfolgreichen und vielversprechenden Entwicklungen in Forschung und Lehre daraus hervorgehen können.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen

Ihr



Prof. Dr. Torsten Eymann  
Vizepräsident der Universität Bayreuth  
für den Bereich Informationstechnologie  
und Entrepreneurship



Prof. Dr. Torsten Eymann  
ist Inhaber des Lehrstuhls  
für Wirtschaftsinformatik an der  
Universität Bayreuth.

## IMPRESSUM

### Spektrum-Magazin der Universität Bayreuth

**AUFLAGE:**

2.000 Stück

**HERAUSGEBER:**

Universität Bayreuth  
Zentrale Servicestelle PMK – Presse,  
Marketing und Kommunikation  
95440 Bayreuth  
Telefon (09 21) 55 - 53 56 / - 53 24  
Telefax (09 21) 55 - 53 25  
pressestelle@uni-bayreuth.de

**REDAKTIONSLEITUNG:**

Christian Wißler (V.i.S.d.P.)

**DRUCK:**

bonitasprint gmbh, Würzburg

**SATZ UND LAYOUT:**

GAUBE media agentur, Bayreuth  
Telefon (09 21) 5 07 14 41  
spektrum@gaube-media.de

**BILDQUELLEN-KENNZEICHNUNG:**

sst: www.shutterstock.com



Christian Wißler M.A.,  
Fachwirt Public Relations  
(BAW), Zentrale Servicestelle  
PMK der Universität Bayreuth,  
Wissenschaftskommunikation.

Alle Beiträge sind bei Quellenangaben und Belegexemplaren frei zur Veröffentlichung.

Foto Titelseite: sst.  
Abb. links: Detail aus der  
Wandbeschriftung des Neubaus  
der Angewandten Informatik  
(Foto: © Ingo Degenhart).



# Digitalisierung

Zukunft Realität werden lassen



## POLYMER- UND KOLLOIDFORSCHUNG

- 18 **Von der Solarenergie bis zum Blutkreislauf**  
Computersimulationen in der Polymer- und Kolloidforschung

## HOCHDRUCK- UND HOCHTEMPERATURFORSCHUNG

- 30 **Berechnungen unter extremen Bedingungen**  
Hochdruck- und Hochtemperaturforschung entdeckt neue Materialien und unbekannte Materiezustände

- 2 **Grußwort**  
Prof. Dr. Stefan Leible  
Präsident der Universität Bayreuth
- 3 **Editorial**  
Prof. Dr. Torsten Eymann, Vizepräsident der Universität Bayreuth für den Bereich Informationstechnologie und Entrepreneurship
- 3 **Impressum**
- 4 **Inhaltsverzeichnis**

## MOLEKULARE BIOWISSENSCHAFTEN

- 22 **Mit Computern die Bausteine des Lebens erschließen**  
Der Wandel der Biowissenschaften im digitalen Zeitalter



## DIGITALER CAMPUS

- 6 **Die Universität Bayreuth im digitalen Zeitalter**  
Chancen und Herausforderungen
- 10 **Die Wiege der Digitalisierung**  
Vom Rechenzentrum zum IT-Servicezentrum
- 14 **Die Bibliothek: Raum im digitalen Wandel**  
Vom textuellen Wissensspeicher zu multimedialen Datennetzen

## NEUE MATERIALIEN

- 34 **Werkstoffdesign der Zukunft**  
Mit Computersimulationen zu neuen Superlegierungen

## NICHTLINEARE DYNAMIK

- 26 **Digitalisierung in der Messtechnik**  
Untersuchungen zur nichtlinearen Dynamik von Schüttgütern

## ENERGIEFORSCHUNG UND ENERGIETECHNOLOGIE

- 38 **Digitalisierung als Motor der Energiewende**  
Von 72 Millionen Arbeitsfluiden und 157.680 Wetterdaten





Zukunftsorientiert und international vernetzt:  
Der Campus der Universität Bayreuth fördert die interdisziplinäre Zusammenarbeit.  
(Foto: Lili Nahapetian).

## KULTURBEGEGNUNGEN UND TRANSKULTURELLE PROZESSE

- 66 **Computerspielwissenschaften**  
Mediale, kulturelle und technische Aspekte



46

Digitale Technik kommt auch beim zunehmend populären Outdoor-Sport zum Einsatz (Foto: Amer Sports Deutschland GmbH).

## ÖKOLOGIE UND UMWELTWISSENSCHAFTEN

- 42 **Die Erde aus der Ferne**  
Die Erkundung von Klimaparametern und Vegetation mit digitaler Technik

## INNOVATION UND VERBRAUCHERSCHUTZ

- 54 **Die Vermessung des Selbst**  
Chancen und Risiken des digitalen Self-Trackings

## LEBENSMITTEL- UND GESUND- HEITSWISSENSCHAFTEN

- 46 **Digitalisierung im Sport**  
Von Talentdiagnosen bis zu Outdoor-Aktivitäten
- 50 **Telemedizin – Neue Wege in der Gesundheitsversorgung**  
eHealth als Zukunftsthema an der Universität Bayreuth

## GOVERNANCE & RESPONSIBILITY

- 58 **Mehr Digitalisierung wagen?**  
Vom Einfluss der Digitalisierung auf die Demokratie
- 62 **Optimale Diplomatie**  
Zur Erforschung von Meinungsdynamiken in Computersimulationen

## AFRIKASTUDIEN

- 70 **DEVA – ein neues Informationssystem für die Afrikaforschung**  
Wie die Digitalisierung kulturelles Erbe bewahrt und der Wissenschaft zugänglich macht
- 74 **Digitalisierung als Zukunftsvision in Kenia**  
Vom mobilen Geldtransfer bis zur Techno-Utopie

## FORSCHUNGSTRANSFER

- 78 **Aus der Forschung in die Praxis**  
Projektbeispiele: Die Universität Bayreuth als Partner von Wirtschaft und Gesellschaft

## INFORMATIK IN BAYREUTH

- 84 **Digitale Kompetenzen**  
Das Institut für Informatik der Universität Bayreuth



Die Bibliothek: Raum im digitalen Wandel für Forschende, Lehrende und Studierende (Foto: Lili Nahapetian).

14





DIGITALER CAMPUS

TORSTEN EYMANN

# Die Universität Bayreuth im digitalen Zeitalter

CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Der zentrale Platz des Bayreuther Universitäts-  
campus (Foto: Pressestelle Universität Bayreuth).



Das Schlagwort von der „digitalen Revolution“ ist zum Inbegriff für alle diejenigen Veränderungen geworden, welche die allgegenwärtige Verfügbarkeit von Informationstechnologie und Internet in unser persönliches Leben, unsere Gesellschaft und unsere Wirtschaftstätigkeit bringt. Sind Universitäten ein besonders geeigneter Ort, um sich vertieft mit dem Thema Digitalisierung auseinanderzusetzen? Unbedingt. Der Autor und Satiriker Douglas Adams, bekannt durch das Buch „Per Anhalter durch die Galaxis“, hat unsere menschlichen Reaktionen auf neue Technologien einmal so zusammengefasst:<sup>1</sup>

- Alles was in der Welt ist, wenn wir geboren werden, ist normal, alltäglich und gehört zum natürlichen Lauf der Welt.
- Alles was erfunden wird, wenn wir zwischen 15 und 35 sind, ist neu, aufregend, revolutionär, und man kann vermutlich eine Karriere darauf aufbauen.
- Alles was nach unserem 35. Geburtstag erfunden wird, steht gegen die natürliche Ordnung der Dinge.

Wenn wir auf unseren Campus sehen, welche Menschen treffen wir bei uns an? Die meisten von ihnen sind vermutlich zwischen 15 und 35 Jahre alt. Sie alle sind interessiert an Neuem, Aufregendem und Revolutionärem – denn sonst wären sie nicht hier an der Universität. Und eine Karriere suchen sie auch, ob in der Wissenschaft oder außerhalb der Universität. Die Universität kann ein Rüstzeug mitgeben, eine Struktur lehren, den Umgang mit den Technologien einüben lassen. Wenn die Digitalisierung nicht auf unserem Campus zuerst etwas Neues schafft – wo denn dann?

### DIGITALE TECHNOLOGIEN AUF EINEM CAMPUS MIT FLAIR UND „WIR-GEFÜHL“

Wir sollten uns allerdings vor naiver Begeisterung hüten. Die Digitalisierung schafft nicht per se einen Mehrwert, sondern erst unser intelligenter Umgang damit. Das gilt auch für den Einsatz digitaler Technologien in Forschung und Lehre, Laboren und Hörsälen. Erst kürzlich hat das Hochschulforum Digitalisierung, eine gemeinsame Plattform von Stifterverband, Hochschulrektorenkonferenz und dem Centrum für Hochschulentwicklung (CHE) 20 Thesen zur Digitalisierung der Hochschulbildung veröffentlicht.<sup>2</sup> Einige, aber nicht alle dieser

Thesen treffen auch auf die Universität Bayreuth zu und fordern uns zum Handeln auf.

Die wichtigste Feststellung findet sich gleich zu Beginn: „Die digitale Hochschule gibt es nicht. Die Digitalisierung stößt einen weiteren, umfassenden Differenzierungsprozess im Hochschulsystem an.“ Es ist ein Märchen, dass in Zukunft alle Lehrinhalte nur noch online angeboten werden. Gerade unsere Universität lebt von realen, echten Begegnungen zwischen Studierenden, Lehrenden und Forschenden unterschiedlicher Disziplinen. Unser Bayreuther Campus, die Mensa, das Glashaus, der Ökonomiekongress sind beispielhafte physische Orte dieser Begegnungen, welche den Flair und das Wir-Gefühl unserer Universität ausmachen. Dies wird auch in Zukunft ein wesentliches Argument für neue Studierende und junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sein, nach Bayreuth zu kommen.

Zugleich setzt unsere Universität auch Impulse für Begegnungen zwischen Forschung und Wirtschaft und fördert, nicht zuletzt im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung, den Wissenstransfer mit Unternehmen. So hat beispielsweise die Forschungsstelle für Familienunternehmen – gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten für Angewandte Informationstechnik (FIT) sowie für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) – erst vor kurzem eine öffentliche Tagung zum Thema „Auswirkungen der Digitalisierung auf Familienunternehmen“ veranstaltet. Insgesamt kooperieren Forschungseinrichtungen und Lehrstühle auf den verschiedensten Gebieten mit klein- und mittelständischen ‚Hidden Champions‘ in der nordbayerischen Region ebenso wie mit großen Industrieunternehmen im In- und Ausland.

### AUTOR



Prof. Dr. Torsten Eymann ist Vizepräsident der Universität Bayreuth für den Bereich Informationstechnologie und Entrepreneurship und Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik.



Abb. 1 und 2: Die technischen Möglichkeiten der Digitalisierung sind aus dem Alltag der Studierenden nicht mehr wegzudenken, wie beispielsweise oben im Master-Studiengang „Literatur und Medien“ (Fotos: Lili Nahapetian).





Abb. 3: Aber nicht nur digitale Technik, sondern vor allem persönliche Kontakte zwischen Studierenden und Lehrenden prägen den Alltag auf dem Bayreuther Campus (Foto: Lili Nahapetian).

### NEUE ENTWICKLUNGEN IN DER LEHRE

Das Internet verändert die Rollen von Lernenden und Lehrenden. Lernende finden immer mehr Wissen im Internet, so dass die Notwendigkeit der reinen Wissensvermittlung durch die Lehrenden (*ex cathedra*) zurückgeht. Allerdings ist die Qualität der Internet-Informationen sehr unterschiedlich. Die Lehrenden müssen daher zunehmend die Position eines vertrauenswürdigen Lotsen einnehmen, um einzuordnen, zu strukturieren und durch Übungen zu vertiefen. Solche Konzepte nennen sich zum Beispiel *flipped classroom* oder *inverted teaching*, müssen aber erst erlernt werden. Die zunehmende Ausstattung von Studierenden mit internetfähigen Smartphones eröffnet die Möglichkeit, mit diesen Geräten auf dem Campus und in den Hörsälen zu arbeiten. Sogenannte *Classroom Response Systeme* können sogar in Veranstaltungen mit mehreren hundert Studierenden eine direkte Interaktion und Wissensabfrage im Hörsaal schaffen. Gemeinsam mit dem Fortbildungszentrum Hochschulehre

(FBZHL) bietet die Universität Bayreuth ihren Lehrenden bereits Weiterbildungen dazu an.

Wie vorteilhaft der Online-Zugriff auf Lerninhalte sein kann, zeigt sich beispielhaft am Problem der Studierendenmobilität, welches durch die unterschiedlichen Semesterzeiten in Deutschland und im Ausland entsteht. Dies führt manchmal dazu, dass unsere Studierenden mitten im Semester der ausländischen Universität auftauchen und die Hälfte der Veranstaltung dort nacharbeiten müssen. Wenn Lerninhalte bereits vorab online von Bayreuth aus zugreifbar sind, klappt das Einfädeln in den laufenden Vorlesungsbetrieb auf beiden Seiten besser.

Die neuen, von der Digitalisierung eröffneten Möglichkeiten sollten nicht von vornherein durch diffuse Ängste bezüglich des Datenschutzes oder anderer Sicherheitsprobleme zerredet werden. In der Forschung ist es an der Tagesordnung, dass aus Daten von Umfragen oder Laborversuchen Schlüsse für die nächste, veränderte Untersuchung gezogen werden. Mit Daten aus Lehrveranstaltungen und Klausuren lassen sich Lehr- und Lernprozesse analysieren und verbessern. Wer an der Universität unterrichtet, weiß manchmal nicht zu sagen, warum ein bestimmter Jahrgang signifikant besser oder schlechter in einer Klausur abgeschnitten hat als der vorherige. Liegt es an einer anderen zeitlichen Organisation der Veranstaltung oder einer zusätzlichen Laboreinheit? Eine Einhaltung des Datenschutzes vorausgesetzt, können aus Lehrdaten Erkenntnisse abgeleitet werden, welche die Lehre verbessern helfen. Dies sollte nicht von vornherein kategorisch ausgeschlossen werden.

Der gegenwärtige Hype in Bezug auf Vorlesungen, die vollständig im Internet gehalten und von Tausenden Hörern gleichzeitig global abgerufen werden, verstellt allerdings den Blick auf die realen Bedürfnisse unserer eigenen Studierenden. Zusätzlich und komplementär zu Veranstaltungen auf unserem Campus mag es sinnvoll sein, solche sogenannten MOOCs (*Massive Open Online Courses*) – oder auch: Kurse bei der Virtuellen Hochschule Bayern oder bei der Fernuni Hagen – zu belegen und sein Wissen damit zu verbreitern. Aber den realen Campus und die Vielfalt an Begegnungen, den wissenschaftlichen Austausch im persönlichen Gespräch und die individuelle Betreuung unserer Studierenden kann dies nicht ersetzen.

**„GERADE UNSERE UNIVERSITÄT LEBT VON REALEN, ECHTEN BEGEGNUNGEN ZWISCHEN STUDIERENDEN, LEHRENDEN UND FORSCHENDEN UNTERSCHIEDLICHER DISZIPLINEN.“**



## AUSBLICK

Es ist also wichtig, nicht einer naiven Technikgläubigkeit das Wort zu reden. Technologie oder der Einsatz digitaler Medien alleine verbessern nichts. Wenn wir aber die Universität als Platz für Lehre und Forschung nachhaltig verbessern wollen, dann eröffnet die Digitalisierung neue Möglichkeiten. Diese sind freilich kostenintensiv. Unsere High-Performance-Computing-Rechnerausstattung, WLAN überall auf dem Campus und die Medienausrüstung in fast allen Hörsälen sind bereits teuer genug, um nur mit dem Neuesten und Sichtbarsten anzufangen. Auch in der Verwaltung der Universität stehen große Digitalisierungsprojekte an. Doch mit einer durchdachten Strategie werden wir die Veränderungen aktiv gestalten und durch kluge Investitionen gute Ergebnisse erzielen. Von kleinen Rückschlägen werden wir uns dabei nicht entmutigen lassen.

■ **Abb. 4: Enge Zusammenarbeit:** Dr. Andreas Grandel (li.), Leiter des IT-Servicezentrum der Universität Bayreuth, und Vizepräsident Prof. Dr. Torsten Eymann (Foto: Christian Wißler).

- 1 Vgl. Douglas Adams: Lachs im Zweifel. München 2003.
- 2 Diskussionspapier – 20 Thesen zur Digitalisierung der Hochschulbildung. [http://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD-Thesenpapier\\_Sep2015.pdf](http://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD-Thesenpapier_Sep2015.pdf), aufgerufen am 19.11.2015

## Digitaler Brückenschlag zwischen Universität und Schule: Die Forschungsstelle ‚Mobiles Lernen mit digitalen Medien‘

Digitale Medien und ihre Nutzung am PC, Tablet oder Smartphone gehören mittlerweile privat und beruflich zum täglichen Leben. Schule darf sich daher dieser digitalen Welt nicht verschließen, sie muss entsprechende Kompetenzen vermitteln. Lehramtsstudierende müssen im Studium und Lehrkräfte durch kontinuierliche Fortbildung mit den Technologien und den dazugehörigen Unterrichtskonzepten vertraut gemacht werden. Die Universität Bayreuth nimmt sich aktiv dieser Aufgabe an. So werden an der Forschungsstelle ‚Mobiles Lernen mit digitalen Medien‘ elektronische Lernmaterialien für den Mathematikunterricht (interaktive Software, dynamische Arbeitsblätter, elektronische Lehrbücher) und Konzepte zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien entwickelt, erprobt und evaluiert. Dies geschieht auch in Zusammenarbeit mit weiterführenden Schulen. Gerade die verstärkte Kooperation zwischen Schule und Universität hat hinsichtlich dieser zukunftsweisenden Thematik hohe Priorität bei den Aktivitäten der Forschungsstelle. Wichtige Partner in diesem Zusammenhang sind das nationale Excellence-Schulnetzwerk MINT-EC und die Initiative think ING. des Arbeitgeberverbandes Gesamtmetall.

An der Universität Bayreuth hat die Konzeption und Entwicklung interaktiver Mathematik-Software, die sowohl im Schulunterricht als auch im Universitätsstudium auf unterschiedlichen Schwierigkeitsebenen eingesetzt werden kann, seit den 1990er Jahren Tradition. Prominente Beispiele sind die mehrfach ausgezeichnete dynamische Mathematik-Software GEONeXT, die Open-Source-Bibliothek JSXGraph für interaktive Geometrie sowie zum Plotten von Funktionen und Darstellen von Diagrammen. Die jüngste Entwicklung ist die gesteuerte Software sketchometry.

Damit lassen sich geometrische Konstruktionen mit dem Finger am Tablet oder Smartphone erstellen und verändern, ohne dass eine komplexe Menüstruktur bedient werden muss. Tablets erweisen sich so als wertvolles Lernwerkzeug. Mit sketchometry werden sie zu einem elektronischen Skizzenblock, auf dem die Schülerinnen und Schüler durch Visualisieren und Dynamisieren geometrische Zusammenhänge eigenständig erkennen und Vermutungen aufstellen können: Mathematik als experimentelles Fach! sketchometry ist aber auch auf jedem PC lauffähig. Die Software ist kostenlos, es gibt Apps für alle gängigen Systeme. Die sketchometry-Homepage bietet umfangreiche Dokumentationen, Arbeitsmaterialien sowie Unterlagen für Lehrerfortbildungen. Bislang 13 Sprachversionen belegen die große internationale Nachfrage.



■ Im Sommer 2015 war sketchometry ein Star beim ‚Science on Stage Festival‘ in London, das unter dem Motto ‚Illuminating Science Education‘ stand. Die Software aus Bayreuth wurde präsentiert von Carolin Gehring, Dr. Matthias Ehmman, Dr. Carsten Miller und dem Leiter der Forschungsstelle, Prof. Dr. Peter Baptist (v.l.n.r.). Foto: Forschungsstelle MLDM.

- [www.mobiles-lernen.uni-bayreuth.de](http://www.mobiles-lernen.uni-bayreuth.de)



**DIGITALER CAMPUS**



■ CLAUDIA PIESCHE  
RAINER NOACK  
BERNHARD WINKLER  
KLAUS WOLF

## Die Wiege der Digitalisierung

VOM RECHENZENTRUM  
ZUM IT-SERVICEZENTRUM

■ Gebührenfreier Service im IT-Servicezentrum der Universität Bayreuth: In der „PC-Garage“ können Studierende defekte Laptops und PCs überprüfen lassen, Fehler werden nach Möglichkeit hier gleich vor Ort behoben (Foto: Christian Wißler).



„Der Computer ist auch nur ein Mensch.“ Wer hat diesen Satz nicht schon einmal gesagt oder gehört, wenn man als Nutzer fluchend vor der Kiste sitzt? Überraschenderweise ist der Satz sogar korrekt. Als „computer“ wurde im Mittelalter ursprünglich ein Mensch bezeichnet, der komplexe Gleichungen löste. Erst in den 1940er Jahren setzte sich der Begriff auch für die Maschinen durch, die zum Lösen komplexer Rechenaufgaben eingesetzt wurden. Was hat dies nun aber mit „Digitalisierung“ zu tun?

Technisch gesehen, geht es bei der Digitalisierung um die Übertragung analoger Vorgänge, Daten und Prozesse in eine irgendwie geartete digitale Form – also die Übertragung aus der menschlich interpretierbaren, kontinuierlichen Welt in eine diskrete, maschinenlesbare. Ist die Digitalisierung der Welt also eine notwendige Voraussetzung für den effizienten und erfolgreichen Einsatz von Computern? Oder führt der verstärkte Einsatz digitaler Technologien zu einer immer digitalisierteren Welt? Wie immer die Antwort ausfällt, es bleibt ein Befund: Das *Rechenzentrum* ist die Wiege der Digitalisierung an der Universität Bayreuth. Wobei die Verwendung dieser Bezeichnung eine Reminiszenz an alte Zeiten ist, in denen das Zur-Verfügung-Stellen von Rechenleistung als Kernaufgabe des heutigen *IT-Servicezentrums* angesehen wurde.

Viele der digitalen Angebote, die heute im Serviceportfolio des IT-Servicezentrums fest verankert sind, waren zu Beginn der digitalen Entwicklung in weiten Teilen kaum vorstellbar. Nur wenige Jahre später werden sie als selbstverständliche Angebote wahrgenommen. Neben der alltäglichen Nutzung des Internets mit allen verfügbaren Geräten, haben die digitale Kommunikation und das Arbeiten mit elektronischen Medien die Entwicklung von Forschung und Lehre erheblich beeinflusst. Für wen wäre es heute schon denkbar, ein paar Tage auf eine postalische Antwort zu warten? Oder Rechenleistung bei einem zentralen Rechner zu beantragen, um dann dort Lochkarten zur Ausführung einer Berechnung zu hinterlegen? Genau dies waren jedoch Stationen auf der Reise von der analogen in die digitalisierte Arbeitswelt.

## WIE DAS „BIT“ NACH BAYREUTH KAM

Schon bald nach der Eröffnung der Universität wurde klar, dass wissenschaftliche Arbeiten besser mit



Hilfe elektronischer Rechenanlagen durchzuführen sind. Zu diesem Zweck wurde 1977 ein „Rechenzentrum“ ins Leben gerufen, das Rechenaufträge an die damals schon vorhandenen „Groß“-Rechner der Universität Erlangen senden konnte. Diese Aufträge bestanden aus Anweisungen auf Stapeln papierener Lochkarten in Dollarnotengröße, auf denen je 80 Zeichen untergebracht werden konnten. Eingelesen vor Ort, gelangte solch ein „Job“ über eine elektronische Nabelschnur an die Mutterrechner in Erlangen, wurde dort verarbeitet und bitweise zur Druckausgabe nach Bayreuth zurückgesandt. Nach und nach wurde das Baby dann erwachsen, bekam ein eigenes „Gehirn“ in Form eines Zentralrechners mit 1,25 (!) MB Hauptspeicher. Es konnte Rechenanweisungen nicht nur durch Stanzen von Löchern in Kartons, sondern direkt von schreibmaschinenähnlichen Eingabegeräten oder sogar von „Sichtgeräten“ entgegen nehmen. Innerhalb der Universität wurden diese „Terminals“ über ein Vermittlungssystem, das aus kupfernen Vier-Draht- oder Koaxial-Kabeln bestand, mit den Verarbeitungsrechnern verbunden. Legendär ist die manuelle Verlegung eines solchen 500 m langen „Yellow-Cable“ auf dem Campus im Jahr 1984. Per „Vampirklemme“ konnten davon Leitungen zu Endanschlüssen abgezweigt werden: Ein erstes Intranet war geboren.

Als Verbindung zur Außenwelt stand nur der Weg über angemietete direkte Standleitungen oder über das Telefonnetz zur Verfügung. Hierfür wurden die digitalen Informationen per „Akustikkoppler“ in analoge Tonsignale gewandelt und beim Empfänger auf die gleiche Weise wieder digitalisiert. Mit der Einführung eines Datennetzes durch

Abb. 1: Der ehemalige Leiter des Rechenzentrums, Dr. Friedrich Siller, mit Datentypistin Claudia Kersten an der Konsole der VAX780, Mitte der 1980er Jahre. Die Steuerung der Maschine war über schreibmaschinenähnliche Eingabegeräte möglich. Die Ausgabe erfolgte nicht am Bildschirm, sondern per Drucker auf Papier (Foto: Archiv ITS, Universität Bayreuth).

die Deutsche Bundespost konnten digitale Daten später direkt über Wählverbindungen an unterschiedliche Partner versandt werden.

Abb. 2: Datenträger in der Entwicklung. Wurden anfangs Daten noch stapelweise auf Lochkarten gespeichert, gab es im Laufe der Zeit Disketten in diversen Formaten (8", 5 1/4" bzw. 3,5") bis hin zu den heute weit verbreiteten USB-Sticks (Foto: Claudia Piesche).



lich auch das Arbeitsumfeld aller Angehörigen der Universität Bayreuth, welches eine kontinuierliche Erneuerung vorhandener Ressourcen, sowohl in hardwaretechnischer als auch infrastruktureller Hinsicht erfordert. Um allen Anforderungen gerecht zu werden, bedarf es mittel- und langfristiger Visionen, die durch zuständige Fachleute vorgedacht, abgewogen und schließlich umgesetzt werden müssen. Dies alles geschieht natürlich parallel zur Pflege und kontinuierlichen Weiterentwicklung bestehender Angebote. Die beiden folgenden Beispiele zeigen, welche Herausforderungen sich aktuell stellen.

## ARBEITEN IN DER CLOUD

Entsprechend den neuesten technologischen Entwicklungen bietet das IT-Servicezentrum virtuelle Desktops an, womit der klassische PC in die „Cloud“ verlagert wird. Somit kann man auf den eigenen Rechner jederzeit und weltweit zugreifen. Der verschlüsselte Zugang kann dabei annähernd verlustfrei über eine auf einem PC / Laptop installierte Clientsoftware, aber auch über einen beliebigen Browser erfolgen. Für den Arbeitsplatz empfiehlt sich die Nutzung eines Terminals: kleiner als eine Müsli-Packung, dank fehlender Lüfter komplett geräuschlos, besonders wartungsfreundlich und deutlich weniger fehleranfällig.

Da sich der virtuelle Rechner im Netz der Universität befindet, ist der Zugriff auf IP-geschützte Ressourcen, zum Beispiel elektronische Zeitschriften, problemlos möglich. Zudem gewährleistet die Realisierung in der Cloud innerhalb der Universität die Sicherheit von Forschungs- und Benutzerdaten. Die virtuellen Desktops befinden sich auf einer besonders performanten und hoch verfügbaren Serverstruktur, woraus sich eine hohe Verfügbarkeit der IT-Arbeitsumgebung und – dank der mehrschichtigen Sicherungssysteme – deutlich kürzere Problembehebungszeiten ergeben, falls es doch einmal zum „Worst Case“ kommt.

Die beschriebene Technologie wurde bereits erfolgreich in Bereichen eingeführt, in denen das IT-Servicezentrum die betriebliche Verantwortung für die Mitarbeiterplätze hat. So sind mittlerweile weit über 200 Arbeitsplätze in technischen und wissenschaftlichen Bereichen auf diese Weise ausgestattet. Seit Ende 2014 bietet das IT-Servicezentrum virtuelle Desktops auch im Mietmodell an. Seit der Erneuerung der IT-Arbeitsplätze am Lehrstuhl Ex-

## WELTWEITE KOMMUNIKATION FÜR ALLE

Gab es zu diesem Zeitpunkt also schon die physikalische Voraussetzung für interne und externe Kommunikation, war es noch ein weiter Weg, bis jeder Angehörige der Universität die Annehmlichkeiten des Internet erfahren konnte.

Die erste Mailverbindung von und zur Universität Bayreuth wurde unter Verwendung eines X.25 Vermittlungsrechners über vorgenannte Standleitung nach Erlangen realisiert. Auf dieser Leitung wurden anfänglich Daten mit 64 kbit/s, später durch Einsatz von Glasfasertechnik sogar 2 Mbit/s übertragen. Dadurch konnten neben der E-Mail und dem Austausch von Daten zu wissenschaftlichen Berechnungen auf den Höchstleistungsrechnern in München auch weitere Dienste angeboten werden. Ab 1993 betrieb das Rechenzentrum einen Gopher-Server, eine Art Vorläufer des WWW. Der erste „echte“ WWW-Server ging dann 1995 eher inoffiziell in Betrieb und erzählte in englischen Sätzen, zunächst nur mit dem Universitätslogo als einziger Grafik, über die Universität Bayreuth. Aus diesem Server ist inzwischen ein Verbund von etwa 400 Webauftritten verschiedener Teile der Universität geworden.

## WEGE ENTSTEHEN DADURCH, DASS MAN SIE GEHT

Der Wandel der Lebens- und Arbeitswelt durch die Möglichkeiten einer digitalisierten Welt erobert immer neue Bereiche. Betroffen davon ist natür-

## AUTOREN



Claudia Piesche  
IT-Servicezentrum



Rainer Noack  
IT-Servicezentrum



perimentalphysik IV von Prof. Dr. Jürgen Köhler werden dort „virtuelle Desktops“ auf Basis von VM-ware bereitgestellt.

## FORSCHEN IM TEAM

Die Digitalisierung macht auch vor der Forschung nicht Halt, die sich heute mit Schlagworten wie eScience oder eResearch konfrontiert sieht. Die Süddeutsche Zeitung warf in ihrer Artikelserie „Digitales Morgen“ sogar die Frage auf, wie Wissenschaft ohne Digitalisierung überhaupt denkbar war.<sup>1</sup>

*„Die Erkenntnisse von etlichen Forschergenerationen sind heute mit wenigen Klicks im Volltext durchsuchbar. Die Erstellung wissenschaftlicher Publikationen könnte dank digitaler Textverarbeitung und Online-Recherche komfortabler nicht sein. Mithilfe digitaler Speicher- und Analyseinstrumente können komplexe Datenbestände geordnet und verstanden werden. Und letztlich haben es erst digitale Kommunikationstechnologien ermöglicht, den Anspruch global vernetzten Forschens umzusetzen.“*

Nur in wenigen Forschungsbereichen gibt es bisher globale Repositorien für die Bereitstellung von Forschungsergebnissen. Ein Grund dafür ist sicherlich, dass die globale Sammlung von Daten zu einem Forschungsgebiet eine hohe Standardisierung der Daten voraussetzt, wie es zum Beispiel im Human Genome Project (HGP) oder in der Klimaforschung der Fall ist. Für die Mehrheit der Forschungsgebiete ist eine globale Standardisierung nicht möglich, da es sich oft um hoch spezialisierte und teilweise sogar einzigartige Forschungsaktivitäten handelt. Eine allgemeine Beschreibung dieser sehr speziellen Experimente, Messungen, Beobachtungen und ihrer Ergebnisse ist sehr zeitaufwändig.

In vielen Fällen werden Forschungsdaten auf individuellen lokalen Speichermedien oder auf gemeinsam genutzten Netzlaufwerken einer Forschungsgruppe gesichert. Dies führt zu limitierten Zugriffsmöglichkeiten durch die jeweiligen Einzelpersonen oder Gruppen und zu heterogenen Zusatzinformationen, weil die Beschreibung der Daten im Verantwortungsbereich jedes Einzelnen liegt. Ein weiteres Problem: Der traditionelle Lebenszyklus von Forschungsdaten erlaubt öffentliche Zugriffe nur auf solche Publikationen, die in dafür vorgesehenen Systemen veröffentlicht wurden. Die Forschungsdaten selbst sind in den lokalen Speichersystemen verborgen und nicht zugänglich.

Eine mögliche Lösung zur Unterstützung des Forschungsdatenmanagements wird aktuell im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 840 („Von partikulären Nanosystemen zur Mesotechnologie“) entwickelt. Hier erarbeitet das IT-Servicezentrum eine Infrastruktur, die eine langfristige Speicherung und Auffindbarkeit der im SFB erzeugten Forschungsdaten und eine Rekonstruktion des Entstehungsprozesses publizierter Forschungsergebnisse ermöglicht. Der komplette Forschungsprozess – beginnend mit der Aufbewahrung / Speicherung von Primärdaten bis hin zur Publikation von Ergebnissen – wird unterstützt. Alle im Zuge dieser Prozesskette entstehenden Datenobjekte können gespeichert und mit beschreibenden Informationen versehen werden. Mit Hilfe der Vergabe von Digital Object Identifiern (DOIs) für relevante Datenobjekte und deren Informationen kann ein öffentlicher Zugang auf definierte Daten ermöglicht und diese somit zitierfähig gemacht werden.

Unabhängig davon, welche Entwicklungen im Hinblick auf Digitalisierung noch auf uns zukommen – sie werden Auswirkungen auf unsere Arbeits- und Lebenswelt haben. Und wie bisher wird es auch zukünftig einen Partner geben, der neue Technologien antizipiert und die zur Nutzung innovativer Computertechniken notwendigen Infrastrukturen und Dienstleistungen zur Verfügung stellt: das IT-Servicezentrum.

## AUTOREN



Dr. Bernhard Winkler  
IT-Servicezentrum



Dipl.-Inform. Klaus Wolf  
IT-Servicezentrum

<sup>1</sup> Leif Kramp: Wie die Digitalisierung die Wissenschaft verändert, in: Digitales Morgen: Debatte zur Digitalisierung, Süddeutsche Zeitung / sz.de, 20. November 2013.



Abb. 3: btrzx3 – der neueste High-Performance Cluster des ITS. Im neuen Gebäude NW III der Universität Bayreuth sind 425 Einzelrechner dieses Verbunds zusammenschaltet. Bei seiner Inbetriebnahme im Jahr 2013 gehörte der Cluster zu den 500 größten und leistungsstärksten Rechnern der Welt (world's most powerful supercomputers) (Foto: Raimund Matros).



DIGITALER CAMPUS



■ RALF BRUGBAUER  
VERA BUTZ

# Die Bibliothek: Raum im digitalen Wandel

VOM TEXTUELLEN WISSENSPEICHER ZU MULTIMEDIALEN DATENNETZEN

■ Impressionen von der Universitätsbibliothek  
Bayreuth (Foto: Lili Nahapetian).

**G**ottfried Wilhelm Leibniz, dessen Todestag sich im Jahr 2016 zum 300. Mal jährt, gilt Vielen als letzter Universalgelehrter. Geleitet von dem Bestreben, das Ganze zu durchdringen, und dabei immer bemüht, die Theorie für die gesellschaftliche Praxis nutzbar zu machen, setzte er sich mit nahezu allen Wissensfeldern seiner Zeit auseinander. Leibniz hatte die Vision einer Bibliothek, in der in drei oder vier Räumen Bücher mit dem relevanten Wissen seiner Zeit verfügbar sein sollten.<sup>1</sup> Drei Jahrhunderte später sind uns seine Ideen wieder sehr nahe: Informationen und Wissen weltweit auf kleinstem (virtuellen) Raum zugänglich zu machen, ist keine Utopie mehr.

### „EIN IM PRINZIP UNENDLICHER WISSENSRAUM“

Während Leibniz bei seinen Betrachtungen jedoch vom gedruckten Buch ausging, dessen Inhalte er auf den Kern reduziert sehen wollte, tritt nun an die Stelle des gedruckten Textes ein „kontinuierlich fortschreibbares Ökosystem digitaler Objekte“, in dem „der Text selbst nur noch ein Element, und nicht einmal das wichtigste ist“ – so die Prognose von Klaus Ceynowa, Generaldirektor der Bayerischen Staatsbibliothek.<sup>2</sup> Durch die digitale Transformation wandeln sich die Manifestationen von Information: Digitale Inhalte werden dynamisch, multimedial und sozial produziert und rezipiert. Traditionelle, textuelle „Wissensspeicher“ mit statischen Texteinheiten werden durch einen „im Prinzip unendlichen Wissensraum dynamisch vernetzter Datenbestände“ ersetzt, in dem sich medial engtrenzte Inhalte kontinuierlich neu vernetzen.<sup>3</sup>

Bibliotheken, die sich bislang in erster Linie als Bewahrer des verschriftlichten Wissens verstanden haben, stehen damit vor neuen Herausforderungen: Sie müssen noch stärker als bisher ihre Rolle als ‚information broker‘ für die Wissenschaft annehmen und ihre Dienstleistungen als situative, personalisierte und spezialisierte Anwendungen gestalten, denn das „Wissensmanagement dieses Datenraumes stellt die Zukunftsaufgabe der Bibliothek dar“, so Klaus Ceynowa.<sup>4</sup> Wissenschaftliche Bibliotheken werden daher, wie der bekannte Sprachforscher und Computerlinguist Henning Lobin meint, „von bloßen Dienstleistern zu eigenständigen Akteuren im Forschungsprozess“, da sie auf „die Pflege, Bereitstellung und Zusammenführung aller Arten von Informationen als ‚Wissensrohstoff‘ spezialisiert“ sind.<sup>5</sup>

## BIBLIOTHEKEN: FRÜHE NUTZUNG DER DIGITALISIERUNG

Der Grundstein, um diese neue Rolle ausfüllen und weiterhin Wissenschaft und Forschung bestmöglich unterstützen zu können, wurde schon vor einigen Jahrzehnten gelegt. Bibliotheken machten sich bald die Vorteile der Datenverarbeitung und der Digitalisierung zunutze, obwohl sie oftmals als Horte von Tradition und althergebrachten Arbeitsweisen betrachtet wurden und werden. Schon seit den 1970er Jahren kooperierten die wissenschaftlichen Bibliotheken in der Bundesrepublik beim elektronischen Datenaustausch. In vielen Bibliotheken wurden die Metadaten von Büchern und Zeitschriftentiteln elektronisch erfasst. Dies sind Daten, die andere Daten beschreiben und Auskunft über deren Merkmale geben. Im Fall von Büchern handelt es sich zum Beispiel um Verfasser und Titel, oder auch Seitenanzahl oder ISBN. Die Metadaten wurden anschließend in Zentralkatalogen der überwiegend regional organisierten Bibliotheksverbände zusammengeführt. Dann wurden sie als Datenpool in analoger Form als Microfiche-Kataloge und später auch als CD-ROMs herausgegeben. Ohne dieses „Data Sharing“ hätte die digitale Revolution im Bibliothekswesen vermutlich nicht stattgefunden.

Der nächste große Schritt war die Ablösung der Zettelkataloge durch Online-Kataloge, auch OPAC (Online Public Access Catalogue) genannt. Darin werden die aktuellen Bestandsdaten einer Bibliothek verzeichnet, in der Bayreuther Universitätsbibliothek seit Ende 1994. Im Januar 2015 folgte eine weitere gravierende Änderung: Der Bayreuther Katalog wurde um über 800 Millionen Einträge aus Artikeln von E-Journals und Kapiteln aus E-Books erweitert, die nun alle über eine gemeinsame Rechercheoberfläche auffindbar sind.

Ein weiteres Element der Informationsversorgung für die Wissenschaft ist die Fernleihe, über die weltweit Medien aus anderen Bibliotheken angefordert werden können. Es war ein Quantensprung, als in Bayreuth im Jahr 2000 ein erster elektronischer Fernleih-Server online ging, über den Bestandsdaten online abrufbar wurden. Die Verteilung der Aufträge zwischen den Bibliotheken beschleunigte sich zusätzlich durch den Austausch bereits digitalisierter Dokumente. So ist

## AUTOREN



Dipl.-Biol. Ralf Brugbauer,  
Direktor der Universitäts-  
bibliothek Bayreuth.



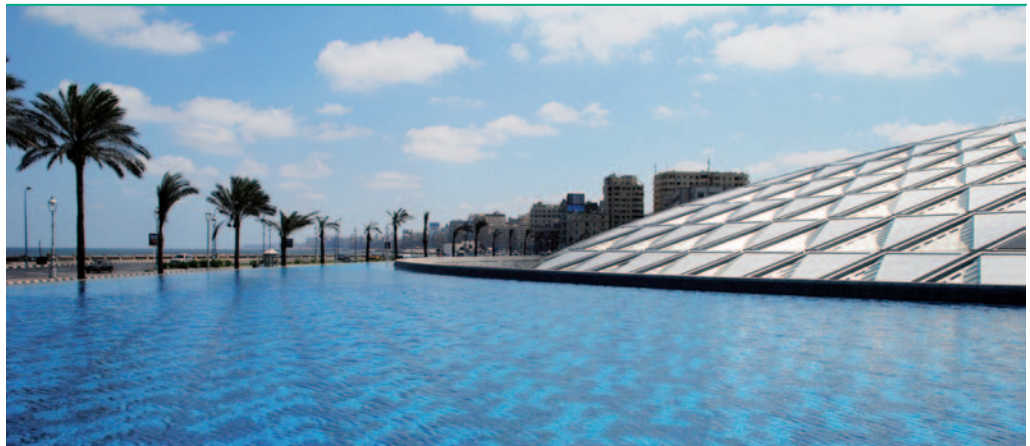
Vera Butz, Fachreferentin an  
der Universitätsbibliothek  
Bayreuth und Koordinatorin der  
‚Teaching Library‘.



Abb. 1: Statue von  
Gottfried Wilhelm  
Leibniz (1646 – 1716) im  
Innenhof der Universi-  
tät Leipzig (Foto: sst).



Abb. 2: Die Neue Bibliothek im ägyptischen Alexandria. Sie versteht sich als Nachfolgerin der bedeutendsten antiken Bibliothek (Fotos: sst).



es 2014 erstmals gelungen, im Bibliotheksverbund Bayern einen gewünschten Zeitschriftenartikel nur 13 Minuten (!) nach der Bestellung an den Benutzer auszuhändigen.

## „WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEKEN WERDEN VON BLOSSEN DIENSTLEISTERN ZU EIGENSTÄNDIGEN AKTEUREN IM FORSCHUNGSPROZESS.“

Damit die Informationsversorgung weiterhin in vollem Umfang gewährleistet und zukünftig noch beschleunigt werden kann, muss das Augenmerk nicht nur auf den Primärdaten, also den Inhalten selbst, sondern vor allem auch auf den Metadaten liegen. Diese verorten als beschreibende Daten die Inhalte im digitalen ‚Raum‘. Dass dies angesichts der zunehmenden Menge an Daten, dem steten Wandel von Technologien und Datenformaten sowie der kürzer werdenden Halbwertszeit von Informationen zu einer immer größeren Herausforderung wird, ist offenkundig. Hier können Bibliothekarinnen und

Bibliothekare auf eine Expertise zurückgreifen, die sie seit Erstellung des ersten Bestandsinventars der Bibliothek von Alexandria in der Antike über Jahrtausende hinweg aufgebaut haben: den effektiven Umgang mit Daten, ihre Erfassung, ihren Erhalt, ihre Verfügbar- und Zugänglichmachung. Hierfür entwickeln Bibliotheken Strategien, die in sogenannten adaptiven Dienstleistungen umgesetzt werden. Dazu zählen beispielsweise mobile Applikationen oder die Migration bibliothekarischer Anwendungssysteme in die ‚Cloud‘, aber auch Angebote zum Ausbau der Medienkompetenz. So werden auch in den entgrenzten digitalen Räumen Menschen und Informationen effizient zusammengebracht.

### DIE DIGITALE TRANSFORMATION

Derzeit laufen weltweit zahlreiche Projekte an Bibliotheken und anderen Kultureinrichtungen mit dem Ziel, analoge Inhalte in digitale Formen zu überführen. Wenn auch nicht unumstritten, ging die Bayerische Staatsbibliothek (BSB) in München als erste deutsche Institution eine Partnerschaft mit einem internationalen Unternehmen ein: Gemeinsam mit Google wurden mittlerweile über eine Million urheberrechtsfreier Bücher aus dem einzigartigen Bestand der BSB digitalisiert, die nun weltweit online zugänglich sind.

Die so entstandenen Inhalte – ebenso wie genuin analoge Materialien und digital erzeugte Forschungsdaten – werden immer häufiger in virtuellen Forschungsinfrastrukturen zusammengeführt. Diese ermöglichen ein direktes und vernetztes Arbeiten und eröffnen der Wissenschaft zugleich neue zeit- und ortsunabhängige Wege der Kooperation. Ein Beispiel aus den Geisteswissenschaften (Stichwort: *Digital Humanities*) ist die von der Europäischen Union geförderte Initiative DARIAH –

Abb. 3: Ausschnitt aus der Homepage des EU-geförderten Projekts DARIAH zur Förderung der „Digital Humanities“.





Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities. Wichtige Voraussetzungen für das Gelingen solcher Projekte sind die Zusammenführung von Primär- und standardisierten Metadaten sowie die Bereitstellung längerfristig stabiler Systemumgebungen.

Sollen als nächster Schritt im Wissenschaftszyklus die gewonnenen Forschungsergebnisse digital und/oder gedruckt veröffentlicht werden, findet die Wissenschaft Unterstützung in Bibliotheken. Diese betreiben Repositorien, auf denen Forschungsdaten gespeichert und Publikationen als Open Access-Angebote bereitgestellt werden können. Zusammengehörige Informationen lassen sich hier verbinden. Die dabei erfassten Metadaten werden zur besseren Sichtbarkeit des wissenschaftlichen Outputs von den Bibliotheken in Hochschulbibliographien, wie beispielsweise *ERef Bayreuth*, verzeichnet. Diese Referenzen gestatten bibliometrische Analysen, sind aber auch für die Forschungseinrichtungen ein wertvolles Gut, wenn es zum Beispiel darum geht, in internationalen Rankings die eigenen Forschungsleistungen unter Beweis zu stellen.

Ein zentrales Problem ist jedoch noch weitgehend ungelöst: Die stetig wachsende Menge digitaler Daten stellt in Bezug auf Erhalt und langfristige Verfügbarmachung eine bedeutend größere Her-

ausforderung dar als die Archivierung ihrer papierenen Vorgänger. Deshalb arbeiten Bibliotheken gemeinsam mit IT-Service- oder Großrechenzentren an hochskalierbaren, generischen und sicheren Systemen, um das wissenschaftliche und kulturelle Erbe digital zu bewahren.

### BIBLIOTHEKEN: ORTE IN DER VIRTUALITÄT

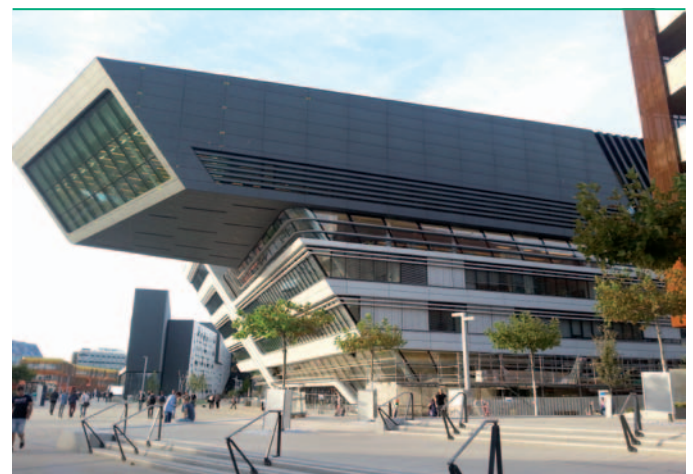
In Leibniz' Vision einer Bibliothek mit drei oder vier Zimmern kann auf relevante Teile dieses Erbes komprimiert an einem Ort zugegriffen werden. So einen Raum gibt es heute in der virtuellen Welt: das Internet, das scheinbar losgelöst von realen Orten existiert. Umso mehr fällt auf, dass es offenbar auch eine Gegenbewegung zur allgegenwärtigen Virtualität gibt. Dies würde zumindest erklären, warum sich Bibliotheken in Europa und den USA hoher Besucherzahlen erfreuen<sup>6</sup> und zudem in letzter Zeit weltweit zahlreiche beeindruckende Bibliotheksbauten entstanden sind. Sie besitzen allein schon durch ihre Architektur internationale Ausstrahlungskraft, wie beispielsweise das Library & Learning Center der Wirtschaftsuniversität Wien, der Neubau der lettischen Nationalbibliothek in Riga oder der „Schwarze Diamant“ der Dänischen Königlichen Bibliothek in Kopenhagen. Und wenn man Studierende der Universität Bayreuth fragt, wo sie am liebsten lernen und nachdenken, dann heißt es kurz: „In der Bib.“



Abb. 6: Ein leistungsstarker Scanner der Universitätsbibliothek Bayreuth ermöglicht eine hochauflösende Digitalisierung von Buchseiten, wie hier aus einem vogelkundlichen Werk aus dem 19. Jh. (Foto: Christian Wißler).



Abb. 4 (links): Blick auf die Dänische Königliche Bibliothek in Kopenhagen. Ein neues, vom dänischen Architekturbüro Schmidt, Hammer & Larsen errichtetes Bibliotheksgebäude wurde wegen seiner Fassade, für die ein aus Simbabwe eingeführtes schwarzes Gestein verwendet wurde, unter dem Namen „Schwarzer Diamant“ bekannt. Abb. 5 (rechts): Das Library & Learning Center (LLC) der Wirtschaftsuniversität Wien, entworfen von der irakisch-britischen Architektin und Designerin Zaha Hadid (Fotos: Ralf Brugbauer).



- 1 Gottfried Wilhelm Leibniz. Politische Schriften. Dritter Band 1677-1689. Herausgegeben vom Zentralinstitut für Philosophie an der Akademie der Wissenschaften der DDR. Akademie-Verlag Berlin 1986, N. 30 Einrichtung einer Bibliothek (1680), S. 349-353, hier S. 350.
- 2 Klaus Ceynowa: Der Text ist tot. Es lebe das Wissen!, in: Hohe Luft. Philosophie-Zeitschrift (2014) 1, S. 53-57, hier S. 54.
- 3 Klaus Ceynowa: Digitale Wissenswelten – Herausforderungen für die Bibliothek der Zukunft, in: Zeitschrift für Bibliothekswesen und Bibliographie (2014) 61/4-5, S. 235-238, hier S. 235.
- 4 ebd. S. 235.
- 5 Henning Lobin: Engelbarts Traum: wie der Computer uns Lesen und Schreiben abnimmt. Frankfurt am Main [u.a.], 2014, S. 238.
- 6 Peter Reuter: Eine Bibliothek für das 21. Jahrhundert – Vorüberlegungen zum Neubau der Universitätsbibliothek Gießen. In: Gießener Universitätsblätter (2015) 48, S. 39-49, hier S. 43f.



■ STEPHAN GEKLE

# Von der Solarenergie bis zum Blutkreislauf

COMPUTERSIMULATIONEN IN DER POLYMER- UND KOLLOIDFORSCHUNG

■ Vor dem Gebäude Polymer Nanostructures (PNS), das eine Reihe von KeyLabs zur interdisziplinären Forschung enthält – darunter auch das Labor „Theorie und Simulation“, in dem die Forschungsgruppe von Jun.-Prof. Dr. Stephan Gekle angesiedelt ist. In der Mitte: Studierende mit Prof. Dr. Mukundan Thelakkat, der in Bayreuth an flexiblen Funktionsmaterialien für organische Solarzellen forscht (Foto: Lili Nahapetian).



Die Polymer- und Kolloidforschung an der Universität Bayreuth hat eine lange Tradition, die bis auf die Gründung der Universität zurückgeht. Heute umfasst dieses Profildfeld insbesondere die Chemie, die theoretische und experimentelle Physik sowie die polymerorientierten Bereiche der Ingenieurwissenschaften. Aus all diesen Bereichen sind leistungsstarke Supercomputer nicht mehr wegzudenken. Dies gilt auch für die Forschungsarbeiten der Arbeitsgruppe „Biofluid Simulation and Modeling“, die im Jahr 2013 als Teil des Profildfelds eingerichtet wurde. Auf zwei Beispiele soll hier näher eingegangen werden: die Entwicklung von Polymermaterialien für organische Solarzellen und die Simulation von Nanopartikeln in Strömungen, insbesondere in der Blutbahn.

### AUF DEM WEG ZU HOCHEFFIZIENTEN ORGANISCHEN SOLARZELLEN

Die heute weit verbreiteten, bläulich schimmernden Solarzellen bestehen aus dem anorganischen Material Silizium. Dies zeichnet sich durch eine hohe Effizienz bei der Umwandlung von Licht in Strom aus, ist aber unflexibel und bruchanfällig. Daher wird seit einigen Jahren intensiv daran geforscht, Silizium durch Materialien organischen Ursprungs zu ersetzen. Letztere liegen zunächst in flüssiger Form vor und lassen sich so leichter verarbeiten. Die Herstellung von flexiblen, also biegbaren, Solarzellen stellt daher ein attraktives Forschungsziel dar. Bislang ist es noch nicht gelungen, auf der Basis organischer Materialien die hohe Effizienz von Siliziumsolarzellen zu erreichen oder sogar zu übertreffen. Daher ist weitere Forschung nötig, wie sie an der Universität Bayreuth beispielsweise innerhalb des von der DFG geförderten Graduiertenkollegs „Photophysik synthetischer und biologischer multichromophorer Systeme“ betrieben wird.

Ein vielversprechender Kandidat für organische Solarzellen sind Perylen-Derivate (Abb. 1). Jedes dieser Moleküle besteht aus zwei gleichartigen Bausteinen, den Polymermonomeren. Diese können sich aneinander lagern oder voneinander abstehen. Je nachdem, wie sie positioniert sind, ist das Molekül „offen“ oder „geschlossen“. An der Universität Bayreuth werden Perylen-Derivate und ähnliche Moleküle in einer engen Zusammenarbeit von Polymerchemie, Experimentalphysik und Theoretischer Physik präzise hergestellt, hinsicht-

lich ihrer optischen Eigenschaften analysiert und theoretisch modelliert.<sup>1</sup> Von diesen Eigenschaften hängt es ab, wie effizient eine aus Perylen bestehende Solarzelle das Licht in Strom umwandelt. Wichtig ist hierbei vor allem die Aneinanderlagerung der Perylenmonomere. Ob, wann und wie stark dies passiert, lässt sich mit experimentellen Methoden nur indirekt ermitteln. Die Moleküle sind viel zu klein, um sie auch mit den stärksten optischen Mikroskopen direkt beobachten zu können.

Computersimulationen aber füllen diese Lücke. Denn sie machen es möglich, die Bewegung einzelner Atome präzise zu berechnen. Hierfür verwendet die Arbeitsgruppe „Biofluid Simulation and Modeling“ die Molekulardynamik-Methode (MD).<sup>2</sup> Die auf diese Weise simulierten Systeme sind einige Nanometer groß: also groß genug, um eine Handvoll Perylen-Moleküle darin unterzubringen. Mithilfe der MD lassen sich nun die zwei möglichen Zustände eines Perylen-Moleküls – „offen“ oder „geschlossen“ – genau identifizieren. Und auch der Übergang von einem Zustand zum anderen kann detailliert untersucht werden. Jetzt bleibt der Prozess des Aneinanderlagerns der Monomere, der für die Effizienz der Solarzelle entscheidend ist, nicht mehr im Dunkeln. Eine zentrale Rolle spielt hierbei das Lösungsmittel Toluol. Toluolmoleküle bilden in der unmittelbaren Nachbarschaft eines „offenen“ Perylenmoleküls eine genau festgelegte Struktur, die Solvationshülle. Sie weisen darin eine viel höhere Dichte auf als in der weiteren Umgebung und sind relativ fest an das Perylen gebunden (Abb. 2). Der entscheidende Schritt vom „offenen“ in den „geschlossenen“ Zustand besteht folglich in der Verdrängung des Toluols. Danach können die beiden Perylenmonomere zusammenkommen.<sup>3</sup>

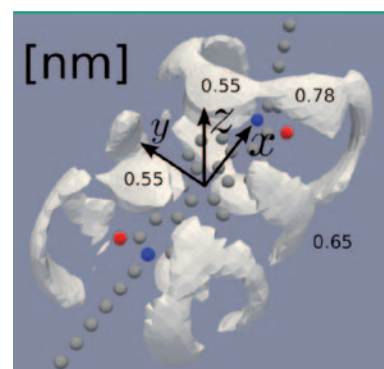


Abb. 2: Dichteverteilung des Lösungsmittels Toluol in der Umgebung eines Perylen-Moleküls. Die grauen Bereiche bilden die Solvationshülle (Bild: Manuel Hollfelder).

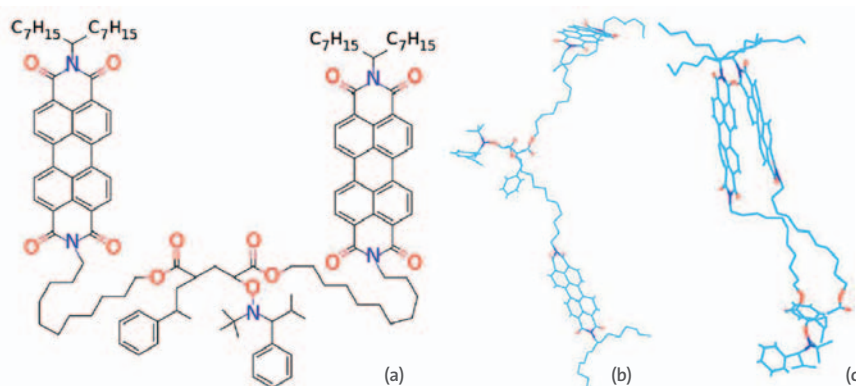


Abb. 1: (a) Ein Perylen-Molekül bestehend aus zwei Monomeren (li. und re.), die durch eine Kohlenstoffkette (unten) verbunden sind. (b) das Molekül im offenen und (c) im geschlossenen Zustand (Bilder: Manuel Hollfelder).

AUTOR



Jun.-Prof. Dr. Stephan Gekle hat eine von der VolkswagenStiftung geförderte Lichtenberg-Junior-Professur an der Universität Bayreuth inne. Er leitet hier die Arbeitsgruppe „Biofluid Simulation and Modeling“.

Bei normaler Raumtemperatur sind Perylen-Moleküle – wie alle Moleküle – permanent in Bewegung (Diffusion). Unter anderem drehen sie sich wiederholt um verschiedene Achsen. Diese Rotationsdynamik lässt sich mit einer Kombination aus zeitaufgelöster Spektroskopie und MD-Simulationen gut nachvollziehen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse helfen ebenfalls, der Umwandlung von Licht in Strom auf die Spur zu kommen. Denn eine optische Anregung, die zum Beispiel beim Lichteinfall auf die Solarzelle entsteht, kann mit der Zeit von einem Molekül zum nächsten „hüpfen“; dadurch wird die Energie zu den Elektroden transportiert, an denen letztlich der Strom entsteht.

### NANOPARTIKEL IN DER BLUTBAHN: NEUE EINBLICKE DURCH SIMULATIONEN

Ein weiteres Gebiet, auf dem Supercomputer zum Einsatz kommen, ist das Strömungsverhalten kleiner Partikel in einer äußeren Flüssigkeit. Von besonderem Interesse sind dabei

- Einzelne sehr lange Moleküle (Polymere)
- Feste Nanopartikel (Kolloide)
- Weiche Teilchen, wie beispielsweise biologische Zellen

Ebenso sind auch Mischungen aus diesen Bestandteilen häufig Gegenstand der aktuellen Forschung. In allen Fällen geht es darum, das Strömungsverhalten der Teilchen möglichst präzise zu berechnen und vorherzusagen.

Ein Paradebeispiel sind Blutströmungen. Sie bestehen im Wesentlichen aus stark deformierbaren roten Blutkörperchen mit einer Größe von einigen Mikrometern. Diese Zellen, die wegen ihrer charakteristischen Form Diskozyten genannt werden (Abb. 3), verändern sich drastisch, wenn sie sich innerhalb des Gefäßsystems durch Blutadern fortbewegen. In kleinen Kapillaren kann sich eine solche Zelle extrem deformieren und durch kleinste Öffnungen hindurchquetschen. In größeren Gefäßen hingegen sind viele Zellen dicht gepackt.

Hier stoßen sie während der Strömung ständig aneinander, was zu einer Vielzahl komplexer Formen und Wechselwirkungen führt. Diese Deformierbarkeit hat eine wichtige Konsequenz: Die Zellen sam-

eln sich bevorzugt in der Mitte der Blutader. An deren Rändern entsteht daher eine Verarmungszone, der *Cell Free Layer*. Dieser Effekt ist eine kräftige Unterstützung für den Blutkreislauf. Denn er verringert den effektiven Strömungswiderstand des Blutes in kleinen Gefäßen und entlastet somit das Herz, das weniger Druck aufbauen muss.

Fügt man nun eine zweite Sorte von Partikeln hinzu, die härter als die roten Blutzellen sind, so konzentrieren sie sich innerhalb der Verarmungszone. Dieser Effekt wird von der Natur gezielt ausgenutzt, um Blutplättchen und weiße Blutkörperchen in der Nähe der Gefäßwand zu halten. So können die Blutplättchen, die der Blutgerinnung dienen, schnell auf Gefäßverletzungen reagieren. Und auch für die weißen Blutkörperchen ist diese Positionierung vorteilhaft: Denn Bakterien dringen bevorzugt über die Gefäßwände ein und können schon hier bekämpft werden, bevor sie sich weiter in der Blutbahn ausbreiten.

Die Wanderung von harten Partikeln in Richtung Gefäßwand lässt sich gut mit Computersimulationen studieren (Abb. 5). In diesem Fall reproduzieren die Simulationen einen Effekt, der schon lange bekannt war und nicht erst am Rechner entdeckt wurde. Doch es gibt komplexere Strukturen, bei denen noch weitgehend unbekannt ist, wie sich harte und weiche Partikel darin verteilen. Ein Beispiel ist die vorübergehende Verengung eines ‚Kanals‘, durch den die Partikel hindurchfließen müssen (Abb. 6). Gibt es Gesetzmäßigkeiten, nach denen dies geschieht? Solche Fragestellungen werden in der Arbeitsgruppe „Biofluid Simulation and Modeling“ intensiv untersucht. Die Ergebnisse könnten eines Tages neue Anhaltspunkte für die Prävention und Therapie von Krankheiten wie Thrombosen und Embolien liefern.

Abb. 3: Ein rotes Blutkörperchen in Ruhe besitzt eine sog. diskozyte Form. Die schwarzen Linien deuten Dreiecke an, mit deren Hilfe die Zellform im Computer gespeichert wird (Bild: Stephan Gekle).

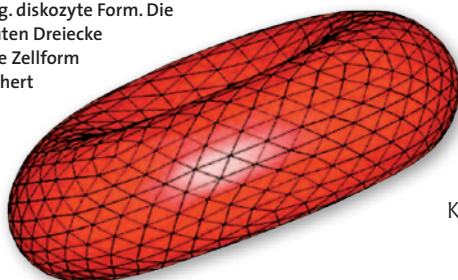


Abb. 4: Strömung der roten Blutkörperchen in einer nicht durch Ablagerungen verengten Vene (Bild: sst).



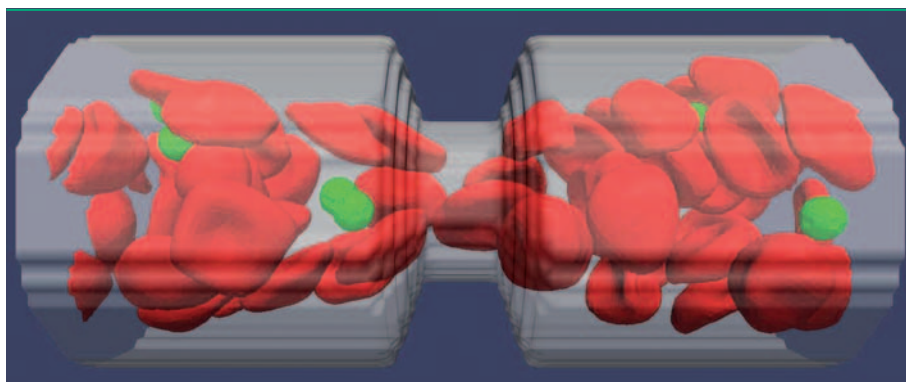
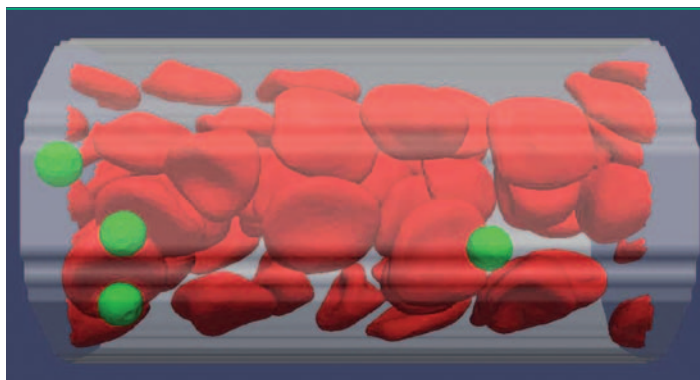
## STRÖMUNGEN IN MIKROJETS

Ein anderes Beispiel für die Simulation von Strömungen ist die computergestützte Konstruktion eines Mikrojets (Abb. 7). Hier wird eine Polymerlösung durch eine runde Kanalöffnung gespritzt. Der entstehende Flüssigkeitsstrahl lässt sich zum Beispiel zur Herstellung von Fasern verwenden und ist daher für die Textilindustrie interessant. In der Forschung können solche Jets die Analyse gelöster Teilchen mit Hilfe starker Röntgenpulse unterstützen.

## LEISTUNGSSTARKE INFRASTRUKTUR

In allen genannten Fällen erfordern die Simulationen große, leistungsstarke Computer. Diese Supercomputer enthalten Tausende von handelsüblichen Mikroprozessoren (CPUs), die über ein schnelles Glasfasernetzwerk miteinander verbunden werden. Eine spezielle Software sorgt dann dafür, dass die Rechenarbeit einer Simulation auf Hunderte von CPUs verteilt wird.<sup>4</sup> Für Forschungsarbeiten auf den unterschiedlichsten Gebieten hat die Universität Bayreuth einen speziellen Raum eingerichtet, in dem ein großer Supercomputer mit über 10.000 CPUs seine Arbeit tut.<sup>5</sup> Dabei entsteht eine enorme Hitzeentwicklung, die über effiziente Kühlsysteme abgeführt werden muss. Tatsächlich sind bei solchen Systemen der Bau und der Betrieb der Kühlanlage oft genauso teuer wie der Computer selbst. Zugleich aber eröffnet sich eine neue Energiequelle: Moderne Anlagen nutzen die Abwärme der Großrechner für die Gebäudeheizung.

Ein besonders innovatives Feld ist das wissenschaftliche Rechnen auf Grafikkarten. Die darauf enthaltenen, eigentlich für Computerspiele entwickelten Prozessoren (Graphics Processing Units, GPUs) sind um ein Vielfaches schneller als herkömmliche CPUs. Einige Hersteller haben das darin enthal-



tene Potenzial für wissenschaftliche Simulationen erkannt und passende Programmiersprachen entwickelt. Darüber hinaus werden auf Grafikkarten basierende Systeme angeboten, die speziell auf den Bereich des Scientific Computing zugeschnitten sind. Diese Karten werden in Standard-Computersystemen eingesteckt und können parallel zur CPU für Simulationsrechnungen verwendet werden. Im Gebäude Polymer Nanostructures der Universität Bayreuth betreibt das Profilfeld Polymer- und Kolloidforschung einen eigenen Rechencluster, der mit diesen spezialisierten Chips ausgerüstet ist. Es wird mit dieser hervorragenden Infrastruktur auch in Zukunft eine Vielzahl neuer Erkenntnisse hervorbringen können.

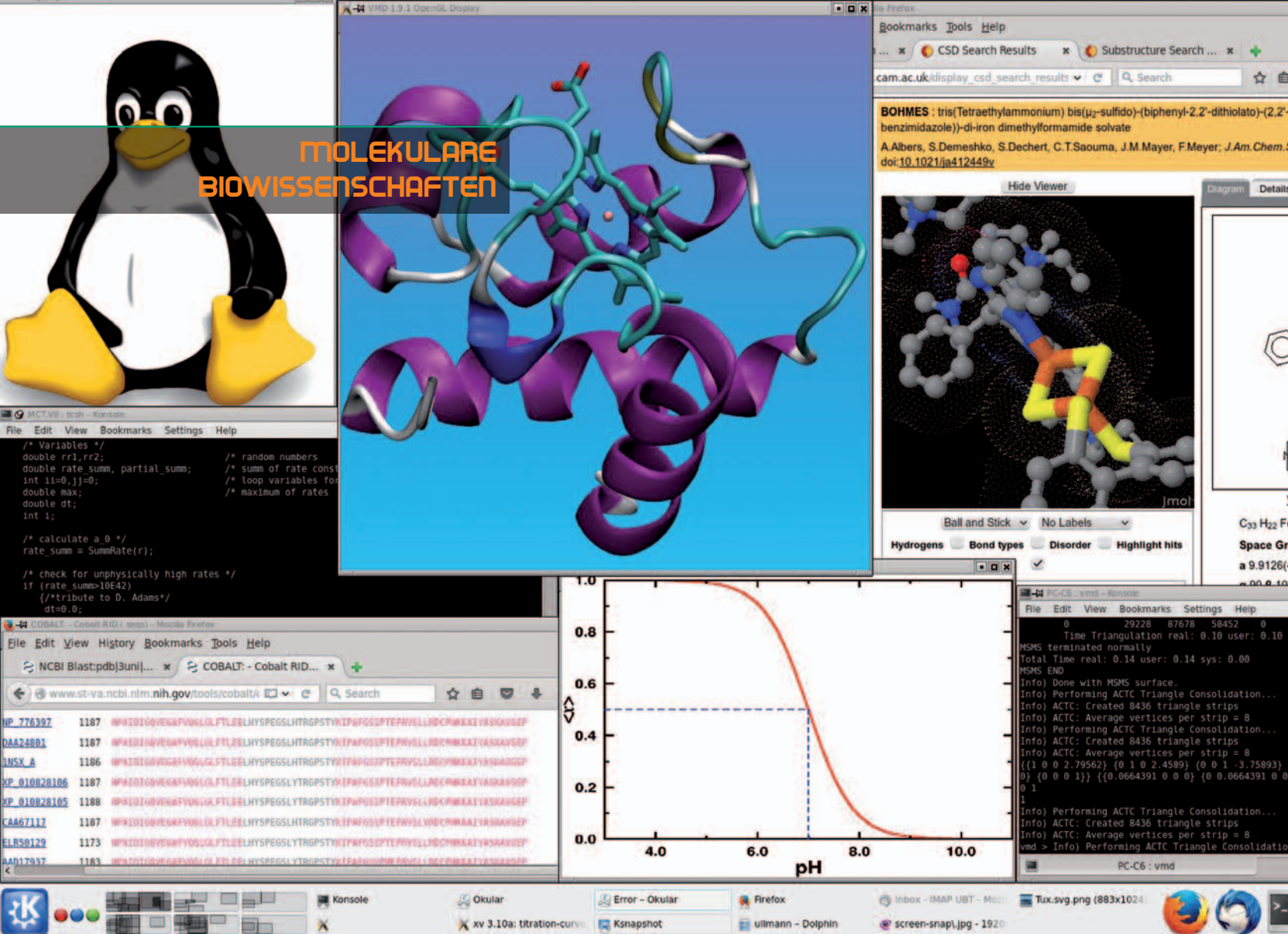
Abb. 5 (oben): In der Nähe der Gefäßwand lagern sich steife Partikel, wie Blutplättchen oder weiße Blutkörperchen (hier grün dargestellt), bevorzugt an (Bild: Stephan Gekle).

Abb. 6 (oben): Nanopartikel in der Blutbahn an einer Verengung (Stenose) (Bild: Stephan Gekle).

Abb. 7: Polymere (grün) werden aus einer Düse (grau) in einen freien Wasserstrahl (blau) gespritzt (Bild: Stephan Gekle).



- 1 Florian Spreitler and Michael Sommer et al.: Unravelling the conformations of di-(perylene bisimide acrylate) by combining time-resolved fluorescence-anisotropy experiments and molecular modelling, in: Phys. Chem. Chem. Phys. 16, 25959–25968 (2014).
- 2 Bei diesem Verfahren werden einzelne Atome als Punktteilchen betrachtet und deren Bewegungen mit Hilfe der Newtonschen Gleichungen berechnet; die Quantenmechanik wird in empirisch ermittelten Wechselwirkungen der Punktteilchen untereinander versteckt.
- 3 Manuel Hoffelder and Stephan Gekle: Dynamic Stacking Pathway of Perylene Dimers in Aromatic and Nonaromatic Solvents, in: J. Phys. Chem. B 119, 10216–10223 (2015).
- 4 Die effiziente Parallelisierung dieser Mikroprozessoren ist ein sehr komplexes und eigenständiges Forschungsfeld, auf dem Fachleute aus der Mathematik, Informatik, den Ingenieur- und den Naturwissenschaften interdisziplinär zusammenarbeiten.
- 5 Vgl. dazu S. 13 dieser Spektrum-Ausgabe.



■ G. MATTHIAS ULLMANN

# Mit Computern die Bausteine des Lebens erschließen

DER WANDEL DER BIOWISSENSCHAFTEN IM DIGITALEN ZEITALTER

■ Screen-SHOT eines Linux-Computers mit dem Linux-Maskottchen Tux, dem Pinguin, in der linken oberen Ecke. Weiterhin sind gezeigt eine Moleküldarstellung mit dem interaktiven Programm VMD, ein Protein-Sequenzalignment, das Ergebnis einer Suche in der Cambridge Structural Database sowie verschiedene Fenster (sogenannte Konsolen) zur Kommandoeingabe (Bild: G. Matthias Ullmann).



**D**ie biologischen Wissenschaften haben sich in den letzten zwanzig Jahren grundlegend geändert. Hauptgründe dafür sind der Einsatz von Automatisierungstechnologien und die Vernetzung der Forschenden und der wissenschaftlichen Daten im Internet. Zudem sind die Kosten für die Generierung enormer Datenmengen mittlerweile stark gesunken. Ein Beispiel ist das 1990 gegründete und 2003 offiziell beendete *Human Genome Project*. Dieses von einem internationalen Forschungsverbund getragene Vorhaben zielte darauf ab, das Genom des Menschen vollständig zu analysieren und kostete rund 3 Milliarden Dollar. Heute hingegen kann man das Genom eines einzelnen Menschen schon für weniger als 10.000 Dollar bestimmen.

Die Sequenzierungstechniken, die bei diesen Forschungsarbeiten zum Einsatz kommen, haben auch ein breites Anwendungsfeld in der Ökologie. So werden bei der Untersuchung mikrobieller Lebensgemeinschaften nicht die Genome einzelner Bakterien bestimmt, sondern die Genome aller Organismen der Lebensgemeinschaft, die sogenannten Metagenome. Die strukturellen Untersuchungen von Biomolekülen haben sich ebenfalls stark gewandelt, wie das Beispiel der Kristallisationsroboter zeigt. Diese kommen unter anderem bei der Züchtung von Proteinkristallen zum Einsatz, die oftmals unentbehrlich sind, um die dreidimensionalen Strukturen von Biomolekülen bestimmen zu können.

Für die rasanten Fortschritte auf diesen Gebieten ist neben den technologischen Innovationen auf der apparativen Seite auch die Entwicklung von Software entscheidend. Als die Strukturbio­logie in den späten 1950er Jahren in den Kinderschuhen steckte, baute man Modelle von Molekülen noch aus Draht und Kugeln in monatelanger Kleinarbeit. Heute dagegen können Proteinstrukturen in manchen Fällen schon innerhalb weniger Stunden auf einem Laptop berechnet werden, sobald die erforderlichen experimentellen Daten vorliegen.

#### INTERNET – DAS MEDIUM FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN DATENAUSTAUSCH

Seit den Ursprüngen des Internets ist der Austausch wissenschaftlicher Daten eine seiner wichtigsten Aufgaben. Viele Daten sind heute über Datenbanken, die von großen Forschungseinrichtungen wie dem European Bioinformatics Institute (EBI) oder

dem National Center for Biotechnology Information (USA) gepflegt werden, weltweit online verfügbar. Dabei stellen die meisten dieser Institute nicht nur die Rohdaten zur Verfügung, sondern bieten über Webserver zahlreiche Suchmöglichkeiten und Analysewerkzeuge an. Wer die Daten für die eigene Forschung nutzen will, ist deshalb nicht darauf angewiesen, auf dem eigenen Computer spezielle Software zu installieren und große Datenbanken vorzuhalten.

Allerdings bedürfen die Daten der Analyse und der Interpretation. Darauf wies bereits der britische Biologe Sydney Brenner im Jahr 2002 hin, als er den Nobelpreis für Medizin und Physiologie erhielt: "Die große Herausforderung in der biologischen Forschung heute ist es, Daten in Wissen zu verwandeln. Ich habe Menschen getroffen, die denken, Daten sind Wissen, aber diese Menschen streben dann danach, Wissen in Verstehen zu wandeln." <sup>1</sup>

#### MATHEMATISCHE MODELLE FORDERN UND FÖRDERN INTERDISZIPLINARITÄT

Um einen schwierigen Sachverhalt zu verstehen, ist es in den Naturwissenschaften notwendig, ein konzeptionelles Modell zu entwickeln, das eine vereinfachte bildliche Vorstellung des Sachverhalts ermöglicht. Sobald es jedoch darum geht, tiefere und oft weniger offensichtliche Zusammenhänge aufzuzeigen, sind computergestützte mathematische Modelle unverzichtbar. Zwei Chemie-Nobelpreise unterstreichen deren zentrale Bedeutung für die Forschung: 1998 wurden John Pople und Walter Kohn für die Entwicklung quantenchemischer Methoden gewürdigt; 2013 ging die Auszeichnung an Martin Karplus, Michael Levitt und Arieh Warshel, die sich um die Entwicklung von Multiskalen-Modellen für komplexe chemische Systeme verdient gemacht hatten.

**„SOBALD ES DARUM GEHT, TIEFERE UND OFT WENIGER OFFENSICHTLICHE ZUSAMMENHÄNGE AUFZUZEIGEN, SIND COMPUTERGESTÜTZTE MATHEMATISCHE MODELLE UNVERZICHTBAR.“**

Solche computergestützten Methoden auf biochemische und biologische Fragestellungen anwenden zu können, erfordert ein breites fächerübergreifendes Fundament in den Naturwissenschaften. Wer

AUTOR



Prof. Dr. G. Matthias Ullmann ist Professor für Bioinformatik/Strukturbio­logie an der Universität Bayreuth.

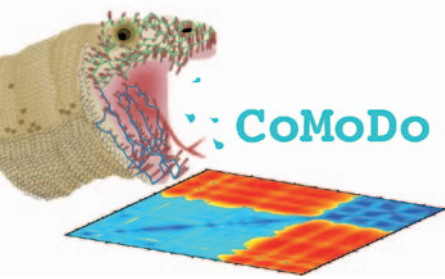
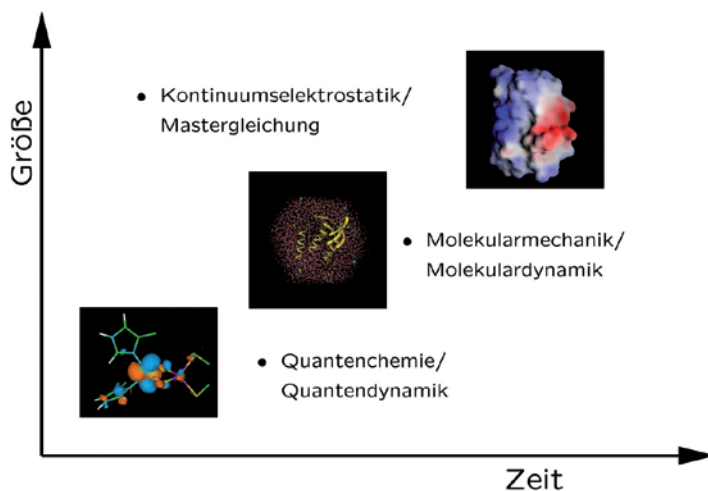


Abb. 1: Abbildung aus dem Inhaltsverzeichnis zum Artikel über das Programm CoMoDo.<sup>2</sup> Der Comodo-Waran hat in seinem Maul ein Protein aus zwei Domänen. Die Pfeile deuten die korrelierte Bewegung des Proteins an. Rechts ein Korrelationsdiagramm (Grafik: Mit freundlicher Genehmigung der American Chemical Society).

Abb. 2: Die Modellierung von biomolekularen Systemen kann auf verschiedenen Zeit- und Längenskalen erfolgen. Je kleiner die Zeit- und Längenskala, desto genauer ist die Modellierung, aber desto größer ist auch der Rechenaufwand. Oft ist es auch notwendig, verschiedene Methoden zu kombinieren, um die biologisch wichtigen Prozesse simulieren zu können (Grafik: G. Matthias Ullmann).

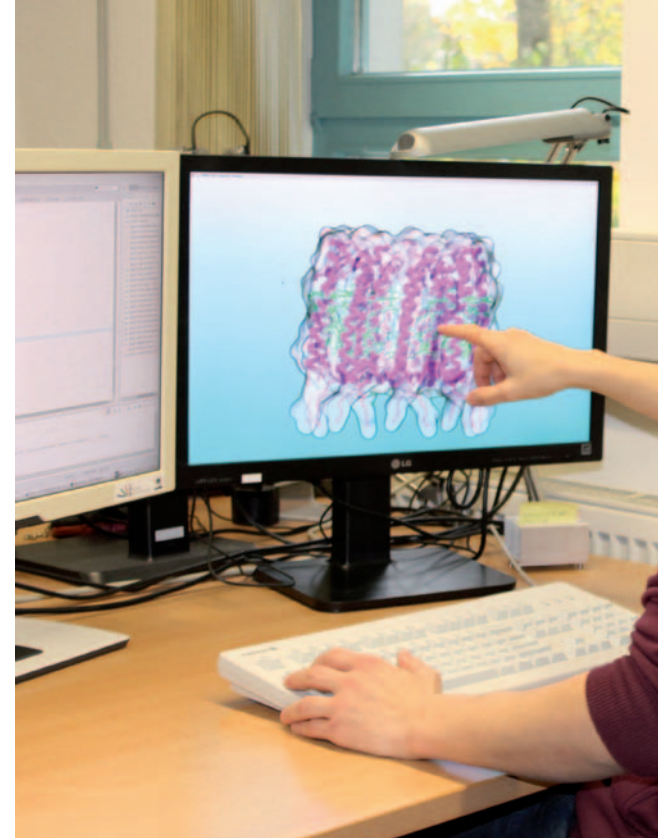


die Biologie nicht versteht, kann nicht die richtigen Fragen stellen. Wer Physik und Chemie nicht beherrscht, dem fehlt das Hintergrundwissen, um die Fragen zu beantworten. Wer Angst hat vor Computern und Mathematik, hat nicht das Handwerkszeug, um die Probleme anzugehen. Interdisziplinarität ist daher in den modernen molekularen Biowissenschaften von überragender Bedeutung.

### COMPUTERSIMULATIONEN ZUR DYNAMIK VON PROTEINEN

An der Universität Bayreuth hat sich bereits vor 12 Jahren eine Forschungsgruppe für Bioinformatik und Strukturbioogie etabliert. Sie untersucht mit theoretischen Methoden die chemischen Mechanismen von Enzymen. Die Vielfalt der Fragestellungen spiegelt sich dabei in der Unterschiedlichkeit der jeweiligen Verfahren, die für deren Bearbeitung eingesetzt werden. Ist man beispielsweise am genauen Ablauf einer chemischen Reaktion interessiert, führt kein Weg an quantenchemischen Methoden vorbei. Will man mehr über die Bewegungsabläufe eines einzelnen Proteins erfahren, ist Molekulardynamik die Methode der Wahl. Ist man an sehr großen Enzymsystemen interessiert, können Kontinuumelektrostatik-Rechnungen in Kombination mit einem Master-Gleichungsansatz die Lösung sein. Der Erfolg einer Simulation hängt immer davon ab, dass die jeweils passenden Methoden sinnvoll kombiniert werden und die dabei relevanten Größen- und Zeitskalen korrekt behandelt werden (Abb. 2).

Eine Kombination von Methoden, die auf verschiedene Größen- und Zeitskalen Bezug nehmen, ist häufig eine Grundlage für Computersimulationen.



So wurde in Bayreuth beispielsweise ein neuer Ansatz erarbeitet, um die Dynamik von Proteinen zu simulieren. Die meisten großen Proteine sind aus mehreren Domänen aufgebaut. Es handelt sich dabei um kompakte molekulare Einheiten, welche die Proteine beweglich machen – und zwar so, dass die Proteine ihre jeweiligen Funktionen erfüllen. Die Organisation dieser Domänen muss man deshalb verstehen, um die Dynamik der Proteine erkennen und vorhersagen zu können. Der neue Ansatz hilft, funktionelle Proteinbewegungen in biologischen Prozessen besser zu verstehen, beispielsweise bei der Übertragung von Signalen oder der Ligandenbindung. Das in Bayreuth entwickelte Programm namens „CoMoDo“ – die Abkürzung steht für „Covariance of Motion Domains“ – ist als Open Source Software allgemein zugänglich.<sup>2</sup>

### LINUX – DER VERSTECKTE MOTOR DES WISSENSCHAFTLICHEN RECHNENS

Als der Einsatz von Computern in der Wissenschaft noch am Anfang stand, beschränkte er sich meist auf wenige Institute mit Großrechnern. Diese Computer arbeiteten nicht mit Windows oder DOS, sondern dem Betriebssystem Unix. Es ist auf wissenschaftliche Bedürfnisse sehr gut zugeschnitten, da es erlaubt, Daten sehr einfach zu bearbeiten, dazustellen und zu transferieren. Im Bereich der in den 1990er Jahren entwickelten Heimcomputer dominierte hingegen das Betriebssystem Windows, das eine der Ursachen für deren einge-





Abb. 3: Lars Müller, Doktorand und Mitglied der Computational Biochemistry Group an der Universität Bayreuth, zeigt auf das Modell eines Lichtsammelkomplexes, der in der bakteriellen Photosynthese eine Rolle spielt (Foto: Christian Wißler).

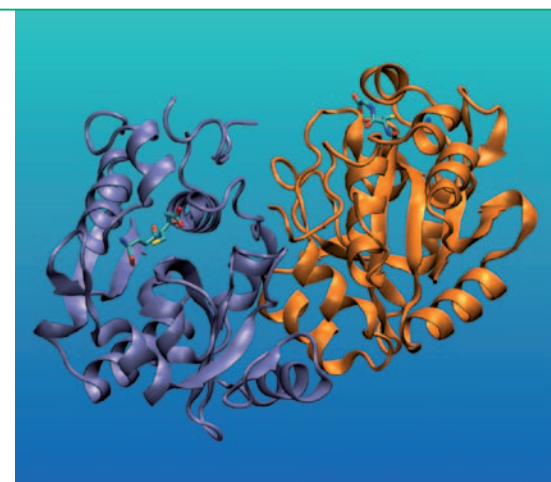
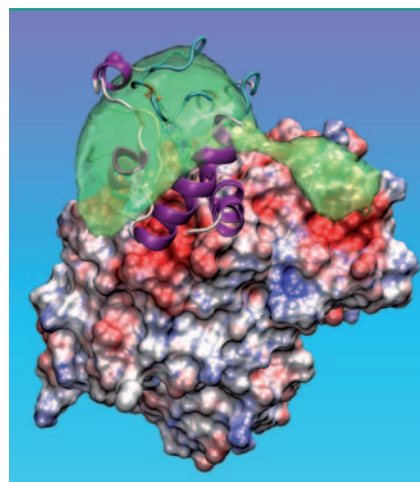
erfolgreich arbeiten wollen, mit dem Computer sicher umgehen und grundlegende Kenntnisse in der Computerprogrammierung besitzen müssen. Steve Jobs, der Mitbegründer von Apple Inc., hat einst in einem Interview gesagt, dass jeder lernen sollte, wie man einen Computer programmiert, da dies einem beibringt zu denken.<sup>3</sup> So wie heute niemand sein Abitur ohne Grundkenntnisse der Integral- und Differentialrechnung besteht, wird in wenigen Jahren ein naturwissenschaftlicher Universitätsabschluss ohne Kenntnisse in der Computerprogrammierung und der automatisierten Datenanalyse nicht möglich sein.

schränkte Funktionalität war. In der computergestützten Forschung wurden deshalb zu dieser Zeit immer noch teure Workstations, insbesondere der Firmen Sun, Silicon Graphics oder IBM, eingesetzt. Denn diese Computer liefen unter dem Betriebssystem Unix, dessen Funktionalität für das wissenschaftliche Arbeiten mit Computern im größeren Maßstab unverzichtbar ist.

Ab Mitte der 1990er Jahre setzte sich jedoch mehr und mehr das Betriebssystem Linux durch, das es ermöglichte, die volle Funktionalität eines Unix-Systems auf normalen Heimcomputern zu nutzen. Die Entwicklung wurde durch den Umstand begünstigt, dass Linux kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Zumeist ist auch der Quellcode der Programme zugänglich, so dass es möglich ist, die theoretischen Grundlagen der Programme nachzuvollziehen und Teile der Programme in eigener Software wiederzuverwenden. Deshalb ist die Bedeutung von Linux für die Entwicklungen der Bioinformatik und anderer computergestützter Forschungsrichtungen kaum zu überschätzen.

## HERAUSFORDERUNGEN DER ZUKUNFT

In den letzten Jahren wurden in den Biowissenschaften viele experimentelle Methoden entwickelt, die sehr große Datenmengen in kürzester Zeit produzieren können. Um diese großen Datenmengen sinnvoll analysieren zu können, werden in Zukunft alle, die in den Biowissenschaften



Die zentrale Rolle der Verarbeitung digitaler Daten und die Bedeutung des Betriebssystems Linux im wissenschaftlichen Rechnen sollte sich daher auch stärker in der universitären Lehre widerspiegeln. Das erfordert jedoch ein Umdenken auf Seiten der Studierenden, die gerade in den Biowissenschaften nicht besonders computer- und theorieaffin sind, aber auch auf Seiten der Lehrenden. Die Computerausbildung muss neben mathematisch-physikalischen Themen einen breiteren Raum in den biowissenschaftlichen Studiengängen einnehmen und eine größere Tiefe erreichen. Nur so wird es den Universitäten auch weiterhin möglich sein, mit dem Wandel in den Biowissenschaften Schritt zu halten und ihn kreativ mitzugestalten.

Abb. 4 (links): Elektrostatisches Potenzial an der Oberfläche des Proteins Cytochrom-c-Peroxidase. Dieses Protein wechselwirkt mit Cytochrom c (als Kette dargestellt). Die grüne Wolke deutet die Bewegung von Cytochrom c auf der Oberfläche an. Die Wechselwirkung der beiden Proteine ist sehr dynamisch. Cytochrom-c-Peroxidase wandelt Wasserstoffperoxid in ungiftiges Wasser um (Bild: G. Matthias Ullmann).

Abb. 5 (rechts): Das Protein Phytochelatin-Synthase setzt sich aus zwei gleichartigen Bausteinen zusammen und ist daher ein Dimer. Es stellt aus Glutathion (links und rechts jeweils als Stabmodell dargestellt) Phytochelatin her, das bei der Entgiftung von Cadmium-Ionen in Pflanzen eine Rolle spielt (Bild: G. Matthias Ullmann).

<sup>1</sup> "The great challenge in biological research today is how to turn data into knowledge. I have met people who think data is knowledge but these people are then striving for a means of turning knowledge into understanding."  
Sydney Brenner: Ontology Recapitulates Philology, in: *The Scientist* (2002) 16(6), S. 12.

<sup>2</sup> Silke A. Wieninger und G. Matthias Ullmann: CoMoDo: Identifying Dynamic Protein Domains Based on Covariances of Motion, in: *Journal of Chemical Theory and Computation* (2015), 11 (6), S. 2841–2854.

<sup>3</sup> [www.youtube.com/watch?v=mCDkxUbalCw](http://www.youtube.com/watch?v=mCDkxUbalCw), aufgerufen am 19.11.2015.

NICHTLINEARE DYNAMIK

KAI HUANG  
INGO REHBERG

# Digitalisierung in der Messtechnik

UNTERSUCHUNGEN ZUR  
NICHTLINEAREN DYNAMIK  
VON SCHÜTTGÜTERN



Oben: PD Dr. Kai Huang an einer Schüttelmaschine in einem Bayreuther Labor zur Untersuchung der nichtlinearen Dynamik fester Partikel. Unten: Geometrisch unterschiedliche Partikel, deren Verhalten während des Schüttelvorgangs von einer darüber installierten Kamera erfasst wird (Fotos: Christian Wißler).



„Die ganzen Zahlen hat der liebe Gott gemacht, alles andere ist Menschenwerk.“ Dieser Satz des Mathematikers Leopold Kronecker (1823 - 1891) wird von manchen Studierenden im ersten Semester als „höherer Blödsinn“ belächelt: Spielt sich denn das Weltgeschehen nicht auf einem Raum-Zeit-Kontinuum ab, in dem die reellen Zahlen – die auch die Bruchzahlen und die irrationalen Zahlen umfassen – das Maß aller Dinge sind? Einige der typischen Demonstrationsversuche für die angehenden Naturwissenschaftler bestärken die Zweifler wohl in ihrem Weltbild. So wird die gravitatorische Anziehung von zwei Massen mit Hilfe eines an der Hörsaalwand entlang wandernden Lichtpunktes demonstriert. Die Strecke dieses „Wanderwegs“, die etwas über die Stärke der Gravitationskraft aussagt, ist ein räumliches Kontinuum und damit eine analoge, nicht-digitale Größe.

Ein alltägliches Beispiel für ein analoges Messgerät ist die Analoguhr, die mit ihren Zeigern ein zeitliches Kontinuum abbildet. In dem Moment, wo wir die Uhr ablesen und feststellen „Es ist jetzt Viertel nach Elf!“, haben wir jedoch schon eine Digitalisierung dieses Wertes vorgenommen – und damit Kronecker wieder die ihm gebührende Ehre erwiesen. Im Sinne dieser vergrößernden Zeitangabe ist jede quantitative Messung einer physikalischen Größe seit jeher eine digitale Angelegenheit.

Seit einigen Jahrzehnten aber wird fast jeder Messvorgang von digitaler Technik dominiert. Fast immer wird die Digitalisierung der Messwerte automatisch vorgenommen, also nicht mehr von einer Person, die ein Messgerät betätigt und abliest. Auch die Vorbereitung, die Durchführung und die Auswertung der Messungen werden digital unterstützt. Dies zeigen beispielhaft die Forschungsarbeiten zum Bewegungsverhalten granularer Materie, die an der Universität Bayreuth im Profildfeld „Nichtlineare Dynamik“ angesiedelt sind.

## HERAUSFORDERUNG FÜR DIE INDUSTRIE: DIE VERARBEITUNG VON SCHÜTTGÜTERN

Granulare Materie ist ein Ensemble von Festkörperpartikeln. Nicht nur Sand, Kies oder geschredderter Abfall, sondern auch manche Nahrungsmittel zählen dazu – wie etwa Getreide, Müsli oder ‚Studentenfutter‘. In den Laboren des Lehrstuhls Experimentalphysik V wird die kollektive Dynamik

solcher Feststoffteilchen untersucht, die mit Blick auf ihre industrielle Verarbeitung auch Schüttgüter genannt werden. Die Forschungsarbeiten haben eine konkrete technologische Motivation: Zahlreiche Industriezweige stehen vor der Aufgabe, große Mengen granularer Materie zu transportieren, zu sortieren, zu mischen oder zu verpacken. Die beim Transport von Sand bewährten Förderbänder eignen sich freilich nicht in der Lebensmittelindustrie. Denn hier bestünde die Gefahr, dass Gummibtrieb die Nahrung verunreinigt.

Daher verwendet man, um Schüttgüter schonend zu transportieren, sogenannte Schwingförderer. Hier wird die Förderfläche nur um wenige Millimeter hin und her geschüttelt. Die Schüttelbewegung wird dabei in die eine Richtung mit höherer Geschwindigkeit ausgeführt als in die entgegengesetzte Richtung, was den Transport der auf der Förderfläche liegenden Partikel bewirkt. So vorteilhaft der Schwingförderer im Hinblick auf Sauberkeit und Sicherheit ist, so schafft er aber unter Umständen ein neues Problem: Granulat aus verschiedenartigen Bestandteilen neigt dazu, sich beim Schütteln zu entmischen. Dieses Phänomen ist als ‚Paranuss-Effekt‘ bekannt geworden, weil man beobachtet hat, dass sich größere Nüsse beim Schütteln in einer Müsli-Tüte oben ansammeln. Ein solcher Entmischungsvorgang ist bei der industriellen Verpackung fast immer unerwünscht. In der pharmazeutischen Industrie wäre er sogar fatal, weil granulares Pulver ein wesentlicher Bestandteil von Tabletten ist und die im Pulver enthaltenen Wirkstoffe sich nicht separieren dürfen. Andernfalls wäre der Anteil der Wirkstoffe in äußerlich gleichen Tabletten unterschiedlich hoch.

Um Verfahrenstechnologien zu entwickeln, welche die Industrie bei der Lösung derartiger Probleme unterstützen, ist eine intensive Grundlagenforschung zur Dynamik von Schüttgütern erforderlich. Denn viele elementare Fragen, die das kollektive Verhalten dieser Partikel betreffen, sind bisher nicht oder nur unzureichend geklärt.

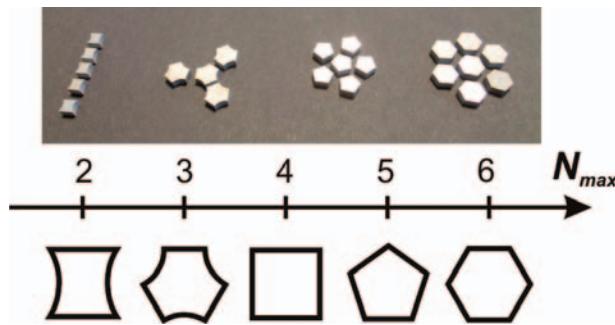
## DIGITALES DESIGN UND 3D-DRUCK GRANULARER MATERIE

Um die Grundlagen der Bewegung von Schüttgütern zu verstehen, finden an der Universität Bayreuth physikalische Experimente mit granularen Teilchen statt, die in ihrer Geometrie genau bekannt sein müssen. Für ein gegenwärtig in Pla-



Abb. 1: Leopold Kronecker war einer der bedeutendsten deutschen Mathematiker im 19. Jh. Er leistete grundlegende Beiträge insbesondere zur Algebra und Zahlentheorie. (Foto: public domain / Wikipedia.org).

Abb. 2: Fotos von geometrisch unterschiedlichen Plättchen, die als granulare Testkörper verwendet werden. Die Anzahl der Kontaktflächen zwischen Teilchen ist mit  $N_{max}$  bezeichnet. Die unteren Flächen zeigen jeweils die Geometrie, welche zur Steuerung des 3D-Druckers herangezogen wurde (Bild: Kai Huang).



nung befindliches Forschungsprojekt sind speziell geformte Teilchen vorbereitet worden. Wie immer die Teilchen sich berühren – ihre Kontaktflächen können dabei nur bestimmte Werte annehmen. Solche Partikel sind nicht im Handel erhältlich, aber die Digitalisierung kommt in Gestalt der 3D-Drucker zu Hilfe. Völlig neuartige Formen lassen sich am Computer ersinnen und dutzendweise in hoher Geschwindigkeit drucken.

So sind auch die in Abb. 2 gezeigten Plättchen entstanden. Konkave Formen haben die Aufgabe, die Benetzung durch Flüssigkeiten gezielt zu beeinflussen. Bei der experimentellen Untersuchung der kollektiven Bewegung solcher Teilchen geht es darum, die geometrischen Ursachen der Brückenbildung im Granulat zu verstehen. Es handelt sich dabei um ein Phänomen, das in der Industrie besonders gefürchtet ist, weil es beispielsweise in Getreidesilos zur Verstopfung führen kann.

### DIGITALE MESSTECHNIK

Um bei den Experimenten Daten mit der angestrebten Präzision erhalten zu können, ist digital gestützte Messtechnik erforderlich. Granulare Partikel kann man an Hand ihres Stoßverhaltens charakterisieren. Das einfachste Beispiel ist ein Fußball, der von einer Hauswand abprallt: Er kehrt dabei im Wesentlichen seine Bewegungsrichtung um, ist aber nach dem Stoß langsamer als vor dem Stoß. Das Verhältnis der zwei Geschwindigkeiten – der sogenannte Restitutionskoeffizient – ist eine wichtige charakteristische Größe für granulare Materie und wurde bereits von Newton eingeführt. Wie sie mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung berechnet wird, ist in Abb. 3 angedeutet. Ausgangspunkt sind dabei Filmaufnahmen einer Kugel, die an einer nassen Oberfläche reflektiert wird.

Experimentalphysiker an den Universitäten Erlangen-Nürnberg und Bayreuth haben Versuche dieser Art mehrere hunderttausend Mal mit einer einzelnen Kugel wiederholt, um Details des Stoßprozesses zu verstehen. Derartige Experimente sind nur aufgrund der Digitalisierung und der damit verbundenen Automatisierung möglich: Ein vom Messcomputer gesteuerter Roboter hebt die Kugel geduldig immer wieder an und lässt sie fallen.

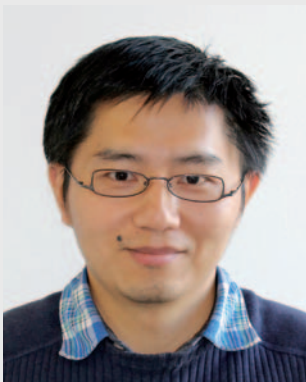
### DIGITALE AUSWERTUNG

Die beim Versuch entstandenen Filmaufnahmen der Kugel liegen im Computer digital vor. Sie sind hier als eine Zahlenkolonne dargestellt, die den Millionen Rasterpunkten des Bildes – also den einzelnen Pixeln – Farbwerte zuordnet. Diese befinden sich meistens auf einer Zahlenskala von 0 bis 255. Nun wird ein Computerprogramm benötigt, welches die Position der Kugel in jedem Einzelbild des Filmes findet – ein Standardproblem der digitalen Bildverarbeitung. Der Computer löst das Problem, indem er die Höhe des Kugelmittelpunktes als Funktion der Zeit behandelt. Mit der so extrahierten Information lässt sich das mathematische Modell für Wurfbewegungen an die Messdaten anpassen; aus dieser Anpassung gewinnt man schließlich den Restitutionskoeffizienten.

### AUTOREN



Prof. Dr. Ingo Rehberg ist Inhaber des Lehrstuhls Experimentalphysik V und Sprecher des Profilfelds Nichtlineare Dynamik an der Universität Bayreuth.



PD Dr. Kai Huang ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Experimentalphysik V.

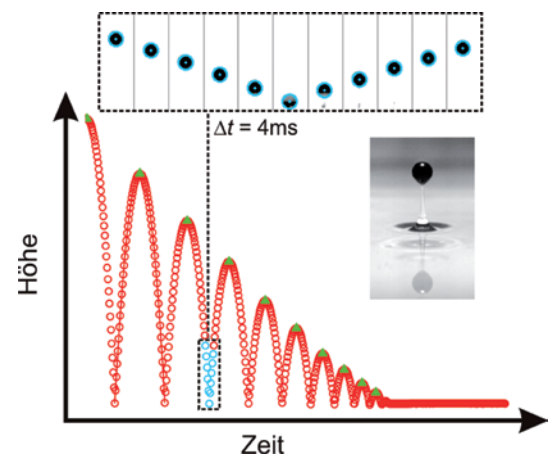
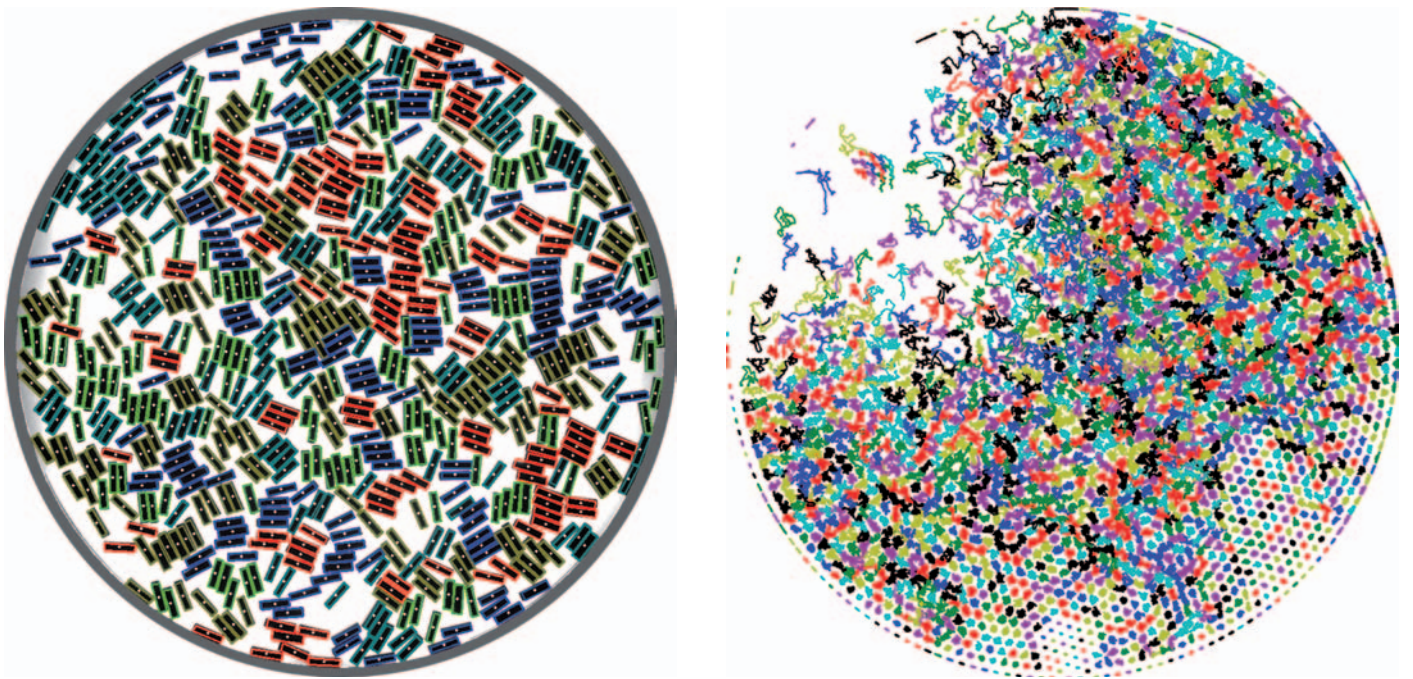


Abb. 3: Die rechts als Foto gezeigte schwarze Kugel traf kurz zuvor auf einen nassen Boden und wurde reflektiert. Der zeitliche Ablauf ist oben mit 11 Bildern im zeitlichen Abstand von 4 Tausendstel Sekunden dargestellt. Die aus den Bildern extrahierten Positionen des Kugelschwerpunktes sind in Rot als zeitlicher Verlauf aufgetragen (Bild: Kai Huang).





Die Position einer einzigen Kugel aufzuspüren, ist wohl das einfachste Teilchenfindungsproblem. Wenn ein Teilchen dagegen nicht rund ist, wird die Mustererkennung durch dessen unregelmäßige Drehbewegungen erschwert. Soll der Computer darüber hinaus nicht nur ein Teilchen, sondern viele Teilchen finden, die sich bei ihren Drehbewegungen auch noch berühren können, wird das Problem kompliziert. Die Abb. 4 zeigt ein Beispiel, bei dem es dennoch gelungen ist, alle Teilchen aufzufinden. Die Teilchen sind hier längliche Zylinder, die Digitalkamera nimmt deren Projektionen als stäbchenförmige Rechtecke wahr. Diese sind im Original schwarz, der farbige Rahmen wird vom Computer mithilfe der Kantenerkennung um die Teilchen herum gemalt. Die vom Computer gewählte Farbe korrespondiert mit der Richtung der Stäbchen. Wo der daraus berechnete Schwerpunkt des jeweiligen Teilchens liegt, wird durch den weißen Punkt angezeigt.

Führt man diese Analyse mehrere hundert Mal pro Sekunde aus, kann man damit die Wege und Geschwindigkeiten jedes einzelnen Teilchens darstellen und vermessen. Hier kommt aber eine zusätzliche Schwierigkeit ins Spiel: Neben dem Erkennen aller Teilchen in zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern müssen auch noch eindeutige Zuordnungen von einem Bild zum jeweils nächsten durchgeführt werden, um so den Weg jedes einzelnen Teilchens nachvollziehen zu können.

Abb. 5 zeigt die auf diese Weise identifizierten Bahnen kugelförmiger Teilchen. Das Bild lässt drei unterschiedliche Bereiche erkennen: Unten rechts gibt es eine regelmäßige Anordnung der Partikel, die nur kleine Bewegungen ausführen. Hier verhält sich das Granulat wie ein fester Körper. Im mittleren Bereich sind die Teilchen nicht geordnet, und ihre Beweglichkeit ist deutlich erhöht – wie in einer Flüssigkeit. Links oben ist die Teilchendichte gering, die Beweglichkeit dementsprechend sehr groß. Hier erinnert das Verhalten der Teilchen an Moleküle in einem Gas.

Im Prinzip könnte eine solche Messung von Teilchenbahnen auch ohne Rechenmaschinen durchgeführt werden. In den Kindertagen der Teilchenphysik wurde Ähnliches mit hilfreichen Heerscharen von „scanning girls“ tatsächlich getan. Doch Hunderte von Teilchen in Millionen von Bildern aufzuspüren, wäre auf diese Weise allerdings praktisch unmöglich. Eben diese Art von Messungen, wie sie erst durch die Digitalisierung realisierbar geworden sind, bilden die Grundlage für Forschungsergebnisse und innovative Verfahrenstechniken, die den industriellen Umgang mit Schüttgütern erleichtern.

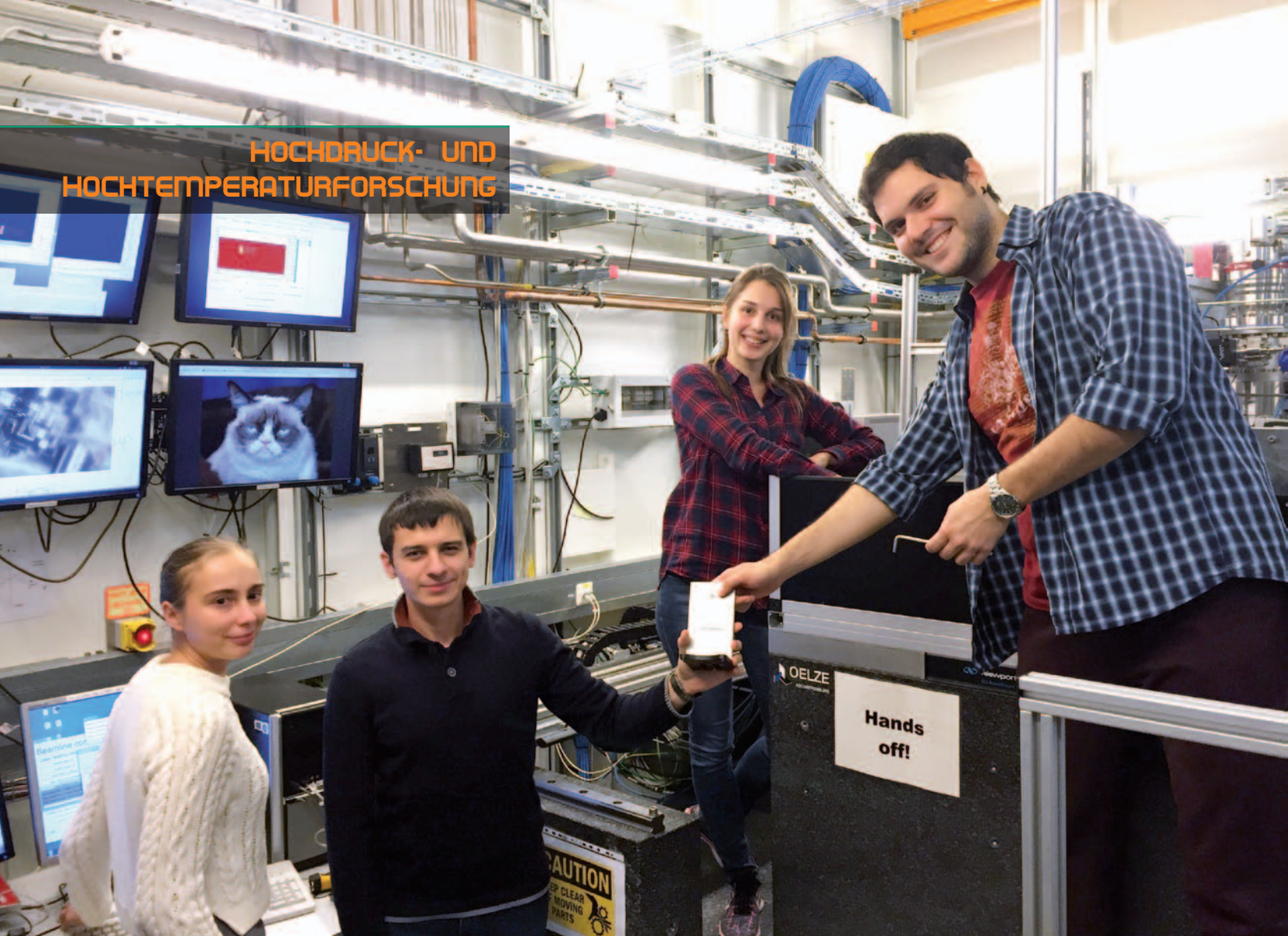
Darüber hinaus möchten wir als Autoren auch ganz subjektiv feststellen, dass uns Experimentatoren das Programmieren ermüdungsfreier Maschinen als Alternative zu Routine-Auswertungen ungleich stärkeres Vergnügen bereitet!

Abb. 4 (links): Momentaufnahme von geschütteltem Granulat. Die Teilchen sind dabei als schwarze Rechtecke dargestellt. Die farbigen Rahmen zeigen die vom Messprogramm gefundenen Kanten, die weißen Punkte jeweils den daraus berechneten Schwerpunkt des Teilchens (Bild: Kai Huang).

Abb. 5 (rechts): Die Bahnen kugelförmiger Teilchen in einem geschüttelten kreisrunden Behälter. Die unterschiedlichen Farben der Bahnen dienen der besseren Unterscheidbarkeit (Bild: Kai Huang).



## HOCHDRUCK- UND HOCHTEMPERATURFORSCHUNG



■ NATALIA DUBROVSKAIA  
LEONID DUBROVINSKY

# Berechnungen unter extremen Bedingungen

HOCHDRUCK- UND HOCHTEMPERATURFORSCHUNG  
ENTDECKT NEUE MATERIALIEN UND UNBEKANNTE MATERIEZUSTÄNDE

■ Wissenschaftlicher Nachwuchs der Bayreuther Hochdruck- und Hochtemperaturforschung:  
Dr. Elena Bykova, Dr. Maxim Bykov, Doktorandin Leyla Ismailova und Doktorand Georgios Aprilis  
bei einem Forschungsaufenthalt am Synchrotron PETRA III in Hamburg (Foto: Natalia Dubrovinskaia).



In der Natur sind extrem hohe Drücke und Temperaturen nichts Ungewöhnliches: Tief im Erdinneren herrschen Drücke, die rund 3,5 Millionen mal höher sind als auf der Erdoberfläche, und die Temperaturen sind dort genauso hoch wie auf der Oberfläche der Sonne (5.500 Grad Celsius). Hohe Drücke und Temperaturen können die Strukturen, Eigenschaften und Verhaltensweisen von Materie verändern. Ein prominentes Beispiel ist die Umwandlung von Graphit in Diamant, die sich tief im Erdmantel vollzieht. Mitte der 1950er Jahre gelang es erstmals, diesen Prozess im Labor nachzuvollziehen – ein frühes Beispiel für das enorme Potenzial der Hochdruck- und Hochtemperaturforschung, die sich an der Universität Bayreuth zu einem starken, international sichtbaren Profildfeld entwickelt hat.

Das weltweit wachsende Interesse am Verhalten von Materie unter hohen, ja extrem hohen Drücken ist nicht allein in wissenschaftlicher Neugier begründet, die der Natur ihre Geheimnisse entlocken und mehr darüber erfahren will, „was die Welt im Innersten zusammenhält“. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse eröffnen auch technologische Perspektiven, insbesondere für die industrielle Entwicklung und Nutzung von Funktionsmaterialien mit einzigartigen Eigenschaften. Hochleistungsrechner, die komplexe Modellierungen, Berechnungen und Simulationen ermöglichen, haben einen wesentlichen Anteil an diesem Forschungszweig. In der Hochdruck- und Hochtemperaturforschung ermöglichen sie oftmals grundlegende Einsichten.

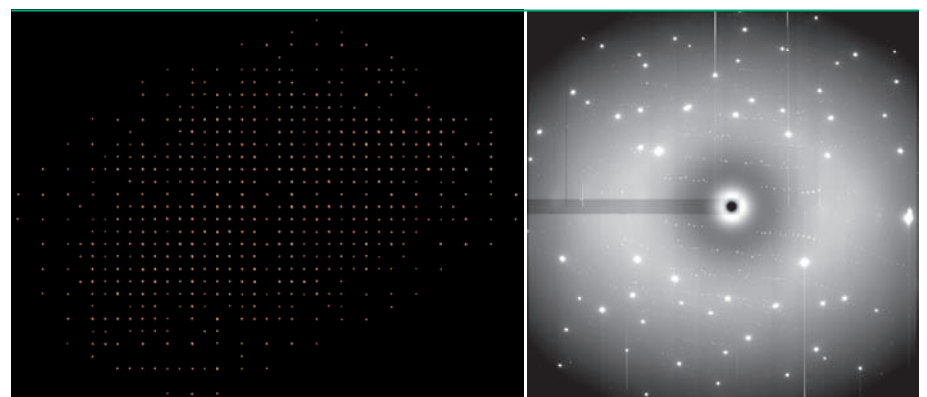
## NEUE EINBLICKE IN DAS INNERE VON KRISTALLEN

Wenn man einen Röntgenstrahl auf ein Kristall schießt, entstehen infolge der periodischen inneren Struktur des Kristalls Hunderte von intensiven Strahlen, die sich in verschiedenste Richtungen ausbreiten. Ein Detektor, der die Strahlen aufängt, erzeugt daraus eine visuelle Darstellung, ein Röntgenbeugungsbild. Dieses besteht aus einer Vielzahl von Lichtpunkten (Beugungsmaxima) und sieht dem nächtlichen Sternenhimmel ähnlich. Wie sich die Lichtpunkte darin verteilen, ist von der Anordnung der Atome und Moleküle im Kristall – dem Kristallgitter – abhängig. Doch ist das Röntgenbeugungsbild keine Abbildung des realen Kristallgitters. Es handelt sich vielmehr um die Darstellung einer abstrakten Konstruktion, die in der

Kristallographie und der Festkörperphysik als „reziprokes Gitter“ oder „reziproker Raum“ bezeichnet wird. Erst wenn man die Position und die Intensität der darin enthaltenen Lichtpunkte gemessen hat, kann man sich durch mathematische Berechnungen zu einer Struktur zurückarbeiten, die dem realen Kristallgitter entspricht. Entscheidend ist dabei das mathematische Verständnis des Verhaltens von Licht bei Röntgenbeugung an Kristallen.

Aus den gewonnenen Daten lässt sich schließlich ein dreidimensionales Modell der realen Kristallstruktur erzeugen. Früher mussten die Kristallographen ein solches Modell eigenhändig zusammenbauen. Heute jedoch können sie diese Aufgabe leistungsstarken Computern überlassen – ein elementares Beispiel dafür, wie die Digitalisierung dazu beiträgt, die innere Struktur von Materialien aufzuklären und für das menschliche Auge sichtbar zu machen.

Die Hochdruckforschung interessiert sich vorrangig für Kristallstrukturen, die erst unter sehr hohen Drücken entstehen. In den Bayreuther Hochdrucklaboratorien werden Kristalle deshalb in sogenannten Diamantstempelzellen eingequetscht, wo sich ihre Strukturen bei steigenden Drücken verändern. Diese Strukturen röntgenkristallographisch aufzuklären zu wollen, ist sehr schwierig. Denn der „Sternenhimmel“ im reziproken Raum ist dunkler als unter normalen Drücken: Viele der durch Beugung entstandenen Röntgenstrahlen erreichen den Detektor nicht, weil die Stempelzelle im Weg steht. Falls sie aber stattdessen auf die Diamanten in der Stempelzelle treffen, können irreführende Lichtpunkte in das Beugungsmuster hineingeraten. Zudem haben auch die sogenannten druckübertragenden Materialien einen störenden Einfluss, die bei der Untersuchung eingesetzt werden, um den Kristall in der Stempelzelle vor endgültiger



## AUTOREN



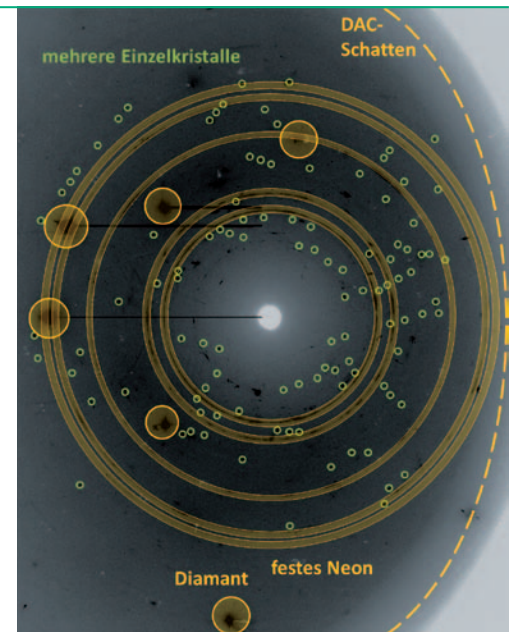
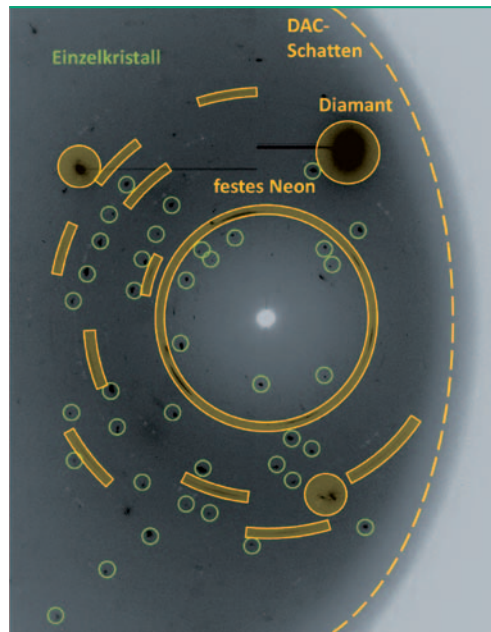
Prof. Dr. Natalia Dubrovinskaia ist Heisenberg-Professorin für Materialphysik und Technologie bei extremen Bedingungen am Labor für Kristallographie der Universität Bayreuth.



Prof. Dr. Leonid Dubrovinsky hat eine Forschungsprofessur am Bayreuther Geoinstitut (BGI) inne.

Abb. 1: Links: Das reziproke Gitter eines idealen Kristalls bei normalen Bedingungen. Es ist eine mathematische Abstraktion, kein Modell einer realen Struktur. Rechts: Bei extremen Bedingungen wird reziproker Raum viel komplizierter (Bilder: Labor für Kristallographie, Universität Bayreuth).

Abb. 2: Links: Röntgenbeugungsbild eines Kristalls unter hohem Druck bei Raumtemperatur. Die Diamantstempel (DAC) und das Druckmedium, welches das Kristall schützen soll, stören die Darstellung mit zusätzlichen Lichtpunkten. Rechts: Wird der Kristall mit Laserstrahlen erhitzt, kommt es zu Phasenumwandlungen und chemischen Reaktionen, welche die Auswertung des Röntgenbeugungsbilds zusätzlich erschweren. Nur mit äußerst leistungsstarken Computerprogrammen und Forschungserfahrung lässt sich dann ein realistisches Modell der Kristallstruktur gewinnen (Bilder: Elena Bykova).



Zerstörung zu bewahren. Und sobald für die weitere Untersuchung Laserstrahlen eingesetzt werden, welche die Kristalle erhitzen und ihre chemische Zusammensetzung oder Struktur verändern, wird das Beugungsmuster noch schwerer verständlich.

Alle diese Schwierigkeiten sind heute überwindbar – aber nur, weil hochleistungsfähige Computerprogramme zur Verfügung stehen, die speziell dafür entwickelt wurden, unter hohen Drücken entstandene Beugungsmuster zu interpretieren. So können sogar Strukturen, die sich unter extrem hohen Drücken bilden, in hochpräzisen 3D-Modellen dargestellt werden.

### VON THEORETISCHEN BERECHNUNGEN ZUM EXTREM HARTEN SUPRALEITER

Für zahlreiche Forschungs- und Technologiefelder, beispielsweise den Energiesektor oder die Medizintechnik, haben Supraleiter eine zentrale Bedeutung. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie unterhalb bestimmter Temperaturen keinen elektrischen Widerstand aufweisen und so eine verlustfreie Übertragung von Strom ermöglichen. Das Interesse an neuen kostengünstigeren und noch leistungsstärkeren Supraleitern ist weltweit hoch: Sie hätten das Potenzial, die technische Zivilisation grundlegend zu verändern.

Um neue Supraleiter zu entdecken, verfährt man traditionellerweise nach dem Prinzip ‚Versuch und Irrtum‘. In der Natur vorhandene oder im Labor synthetisierte Materialien werden auf ihre Leitfähigkeit hin getestet. Mit dem Aufkommen von Hochleistungsrechnern in der Materialphysik stellt sich nun aber die Frage: Lässt sich vorhersagen,

wie Materialien beschaffen sein müssen, damit sie keinen Widerstand und somit eine unbegrenzt hohe Leitfähigkeit besitzen? Die Schwierigkeiten, die dabei überwunden werden müssen, sind groß. Supraleitfähigkeit ist ein nur sehr schwer fassbares Phänomen, das auf der Wechselwirkung von Elektronen beruht. Der Effekt ist so fein, dass dieser eine noch höhere Präzision der Rechenleistung erfordert, als für die Vorhersage der Stabilität einer Struktur benötigt wird. Hinzu kommen weitere Hürden, die sich aus der besonderen chemischen Struktur von Supraleitern und dem enormen Umfang der benötigten Rechenkapazitäten ergeben.

Gleichwohl sind beim theoretischen Design von Supraleitern eindrucksvolle Fortschritte erzielt worden, wie das folgende Beispiel belegt: 2010 waren Theoretiker durch Berechnungen zu dem Ergebnis gekommen, es könnte sich bei Eisentetraborid ( $\text{FeB}_4$ ) einer bestimmten Struktur, das in der Natur

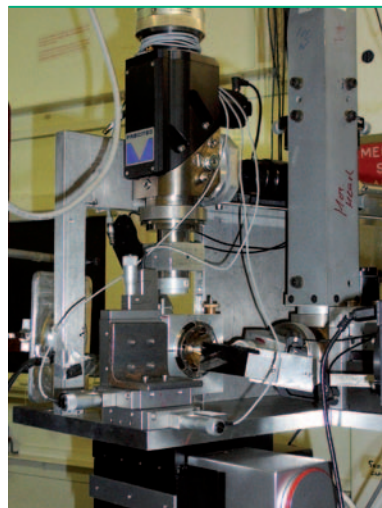
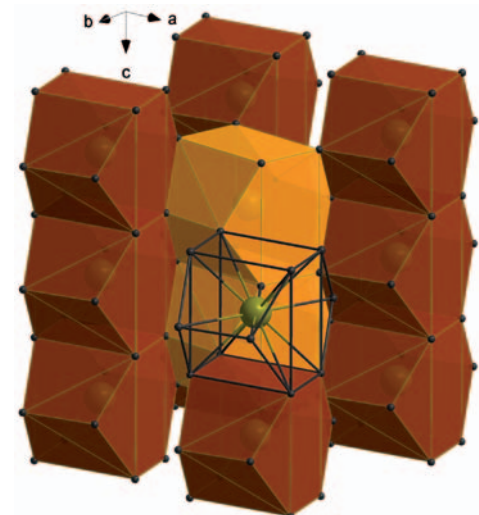


Abb. 3: Ein an der Universität Bayreuth entwickeltes Laserheizungssystem. Das Bild zeigt dessen Montage mit einer Diamantstempelzelle an der Strahllinie (Beamline) ID09 am Synchrotron in Grenoble (ESRF) (Foto: Leonid Dubrovinsky).

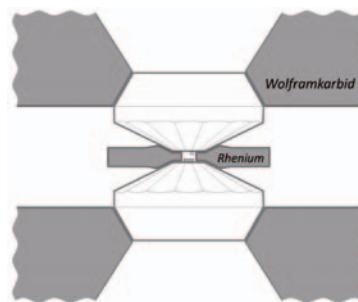
Abb. 4 (rechts): Modell der Kristallstruktur von Eisentetraborid ( $\text{FeB}_4$ ). Bor-Atome sind als kleine schwarze Punkte, Eisen-Atome als größere und grüne Punkte dargestellt (Grafik: Elena Bykova).



nicht vorkommt, um einen Supraleiter handeln.<sup>1</sup> Im Hochdrucklabor der Universität Bayreuth gelang es 2013 erstmals, Eisentetraborid zu synthetisieren – bei Drücken von 8 Gigapascal und bei Temperaturen von rund 1.500 Grad Celsius.<sup>2</sup> Bei Untersuchungen an der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble wurde bestätigt, dass  $\text{FeB}_4$  tatsächlich in der vorhergesagten Struktur vorliegt. Anschließende Messungen der physikalischen Eigenschaften bestätigten die Hypothese:  $\text{FeB}_4$  ist tatsächlich ein Supraleiter. Es ist sogar ein extrem hartes Material, viel härter als die bisher bekannten Supraleiter. Eisentetraborid ist damit der erste Supraleiter, der nicht nach dem Prinzip ‚Versuch und Irrtum‘, sondern auf einem Weg gefunden wurde, der von der Theorie über die Synthese im Labor bis zu empirischen Tests führte.

### BAYREUTHER HOCHDRUCKREKORD ERZEUGT BISHER UNBEKANNTE MATERIEZUSTÄNDE

Komplexe Modelle und Berechnungen unterstützen die Entdeckung neuer Funktionsmaterialien aber nicht allein dadurch, dass sie die Suche nach ihnen auf die richtige Spur setzen. Sie sind auch unentbehrlich, wenn es darum geht, unerwartete Befunde der Hochdruck- und Hochtemperaturforschung zu erklären und neu entstandene Materiestrukturen oder -zustände als solche zu identifizieren. Vor kurzem ist es der Forschungsgruppe unter der Leitung von Prof. Dr. Natalia Dubrovinskaia und Prof. Dr. Leonid Dubrovinsky in Bayreuth gelungen, den Kompressionsdruck in Diamantstempelzellen auf eine bisher unerreichte Höhe zu steigern: Zum ersten Mal wurde die Marke von 750 Gigapascal bei der Kompression des Platinmetalls Osmium überschritten.<sup>3</sup> Es handelt sich hierbei um ein seltenes und außerordentlich unkomprimierbares Platinmetall. Zahlreiche Experimente wurden bei extremen Bedingungen an Synchrotronen in Amerika (Advanced Photon Source, Chicago), Frankreich (ESRF, Grenoble) und Deutschland (PETRA III, Hamburg) durchgeführt. Das internationale Team war von den Untersuchungsbefunden



doppelt überrascht: Zum einen hatte man nicht damit gerechnet, dass die kristalline Grundstruktur des Osmiums selbst bei derart extremen Drücken erhalten bleibt. Zum anderen aber traten bei rund 150 Gigapascal und danach bei etwa 440 Gigapascal merkwürdige Anomalien in der Kompressibilität des Osmiums auf. Was waren die Ursachen?

Komplexe Berechnungen führten zu des Rätsels Lösung: Während die erste Anomalie noch auf bekannte physikalische Vorgänge zurückgeführt werden konnte, ließ sich die zweite nur mit einem äußerst ungewöhnlichen Elektronenverhalten im Kristall erklären: Kernelektronen, die sich in unmittelbarer Nähe der Atomkerne befinden, verhärten nicht länger in ihren ursprünglichen Zuständen, sondern begannen miteinander zu interagieren. Die extrem hohen Drücke hatten einen bisher unbekanntes Materiezustand erzeugt. Diese international vielbeachtete Entdeckung wäre nicht möglich gewesen ohne komplexe Modellierungen und Berechnungen, an denen zahlreiche Forschungspartner im In- und Ausland mitgewirkt haben.

Alle diese Beispiele zeigen: Die Auffindung neuer Strukturen, Eigenschaften und Verhaltensweisen von Materie ist ein kreativer Prozess, der im digitalen Zeitalter neue Schubkraft erhält. Er wird nicht allein neue Erkenntnisse in der Grundlagenforschung hervorbringen, sondern vermutlich auch zu ungeahnten technologischen Innovationen führen. Die Hochdruck- und Hochtemperaturforschung wird diese Entwicklungen auch in Zukunft weiter vorantreiben können.

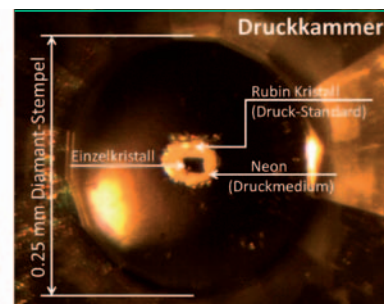


Abb. 5: Einzelkristall-Röntgenstrukturanalyse bei extremen Drücken in einer Diamantstempelzelle. Zwei Stempel aus natürlichen Diamanten klemmen die Druckkammer (Bilder: Elena Bykova).

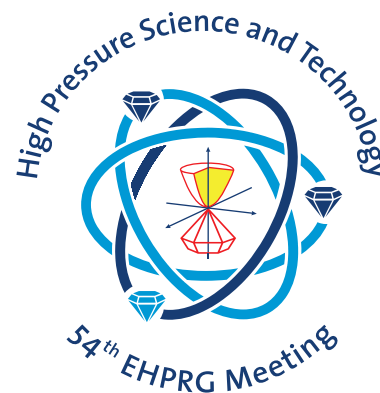


Abb. 6: Die European High Pressure Research Group (EHPRG), die internationale Fachgesellschaft für Hochdruckforschung, wird im September 2016 an der Universität Bayreuth zu ihrer 54. Jahrestagung zusammenkommen.



Abb. 7: Das Gebäude der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble (Foto: Bernd Gross).

- 1 A. N. Kolmogorov, S. Shah et al.: New Superconducting and Semiconducting Fe-B Compounds Predicted with an Ab Initio Evolutionary Search, in: Phys. Rev. Lett. 105, 217003 (2010).
- 2 H. Gou, N. Dubrovinskaia et al.: Discovery of a Superhard Iron Tetraboride Superconductor, in: Phys. Rev. Lett. 111, 157002 (2013).
- 3 L. Dubrovinsky, N. Dubrovinskaia et al.: The Most Incompressible Metal Osmium at Static Pressures above 750 Gigapascals, in: Nature 525, 226–229 (2015).



NEUE MATERIALIEN

■ HEIKE EMMERICH

# Werkstoff- design der Zukunft

MIT COMPUTERSIMULATIONEN  
ZU NEUEN SUPERLEGIERUNGEN

■ Turbinenschaufeln eines Flugzeugs (Foto: sst). Das vom Lehrstuhl für Material- und Prozesssimulation an der Universität Bayreuth koordinierte EU-Projekt SIM-CHAIN setzt Computersimulationen zur Entwicklung neuer hochbelastbarer Werkstoffe ein. Die Forschungsergebnisse werden nicht zuletzt in industrielle Fertigungsprozesse von Turbinenschaufeln einfließen (Foto: sst).



Die rasanten Fortschritte auf den Gebieten der Informationstechnologien haben auch die Produkte und Prozesse in der Werkstoffindustrie stark beeinflusst. Insbesondere haben sie innovative Entwicklungen unterstützt, die darauf abzielen, hochbelastbare Werkstoffe maßzuschneidern – mit genau denjenigen Eigenschaften, die für High-Tech-Produkte in der jeweiligen Branche angestrebt werden. Es liegt auf der Hand, dass solche Technologien des Materialdesigns eine Grundlage für erhebliche Wettbewerbsvorteile sein können. Doch andererseits hat sich klar herausgestellt, dass neue Möglichkeiten im IT-Bereich für sich genommen nicht ausreichen, um ein derartiges Materialdesign auf den Weg zu bringen.

Dafür mussten vielmehr zwei weitere Faktoren hinzukommen:

- Hochpräzise Simulationsverfahren, die auf immer leistungsfähigeren Computern erlauben, immer größere Zeit- und Längenskalen der Werkstoffentwicklung abzubilden.
- Zunehmend detaillierte und dennoch leistungsfähige Werkstoffmodelle, die auch komplexe Prozesse der inneren Werkstoffumwandlung simulieren können.

Beide Faktoren waren und sind eng miteinander verknüpft: Steigende Rechnerkapazitäten haben es möglich gemacht, Simulationen von Werkstoffen auf immer größere Zeit- und Längenskalen auszuweiten und dadurch zunehmend präzise Informationen über deren Eigenschaften und Verhaltensweisen zu gewinnen. Diese Entwicklung führte dazu, dass die Ergebnisse von Experimenten immer besser vergleichbar wurden. Dies wiederum war eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass schrittweise für alle wichtigen Längen- und Zeitskalen der Werkstoffbeschreibung validierte Modelle etabliert werden konnten – im quantenmechanischen und im atomaren Bereich, in mesoskopischen Größenordnungen, bis hin zum Kontinuumsbereich oberhalb von 1 Mikrometer.<sup>1</sup> Zudem konnten übergreifende Modellbeschreibungen entwickelt werden, die diese Skalen miteinander verbinden.<sup>2</sup> Sie tragen heute zur Lösung einer der zentralen Herausforderungen bei, der sich die europäischen Werkstoffindustriestellen in der Globalisierung ihrer Märkte stellen müssen: in immer kürzeren Zeitzyklen leistungsfähigere Werkstoffe zu entwickeln – mit spezifischen Eigenschaften, die noch präziser als bisher auf definierte Anwendungen hin zugeschnitten sind.



## DER BLICK NACH VORN: FORTSCHRITTE DURCH EXPERIMENTE

Über Jahrhunderte wurden Werkstoffe und die dazugehörigen Prozesse prinzipiell auf die gleiche Weise entwickelt und weiterentwickelt. Die Abfolge von ‚Versuch und Irrtum‘ ermöglichte und beförderte den Erkenntnisfortschritt. Am Beispiel der zunehmend elaborierten Legierungen für antike Schwerter lässt sich das verdeutlichen: Man änderte die Anteile der Materialien, fügte neue hinzu, erprobte verbesserte Schmiedetechniken – und maß das Ergebnis an der resultierenden Werkstoffbeschaffenheit. Die Denkweise war immer nach vorn gerichtet: ausgehend von der Gegenwart des

Experimentierens und Machens hin zu einem angestrebten, erst in der Zukunft verifizierbaren Erfolg.

So verfährt im Prinzip noch heute eine rein experimentell ausgerichtete Werkstoff- und Prozessweiterentwicklung – auch nachdem es infolge der Digitalisierung möglich geworden war, immer detailliertere und leistungsfähigere Modell- und Simulationsansätze für neue Materialien zu entwickeln. Denn am Anfang standen jedesmal bekannte Werkstoffeigenschaften, die präzise nachgerechnet wurden. Mit den daraus resultierenden validierten Modellen ließen sich dann zunehmend auch solche Materialzusammensetzungen berechnen, die noch nicht im Labor synthetisiert waren. Deren Eigenschaften konnten in einigen Fällen sogar mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden. Weil die

Abb. 1: Keltisches Schwert aus norrischem Stahl, der im Römischen Reich wegen seiner Härte besonders geschätzt wurde. Ausstellungsstück aus dem Metropolitan Museum of Art in New York (Foto: PHGCOM / CC-BY-SA 3.0 / Wikimedia Commons).

## AUTORIN



Prof. Dr.-Ing. Heike Emmerich ist Inhaberin des Lehrstuhls für Material- und Prozesssimulation an der Universität Bayreuth.

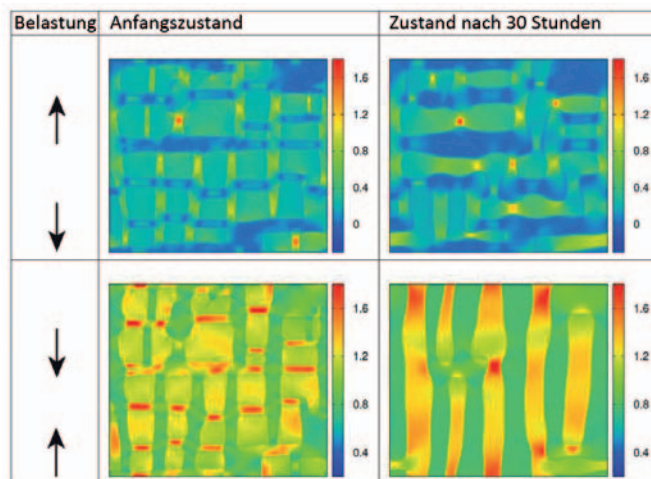


Abb. 2: Die vier Bilder zeigen die elastische Energie um ein typisches Gefüge von fortgeschrittenen Nickelbasis-Superlegierungen, wie sie besonders in Turbinenschaufeln zum Einsatz kommen. Oben: die Veränderung des Materials unter Spannung; unten: die Veränderung des Materials unter Druck. Die Skalen zeigen enddimensionierte Werte der elastischen Energie (Bilder: Leslie T. Mushongera).

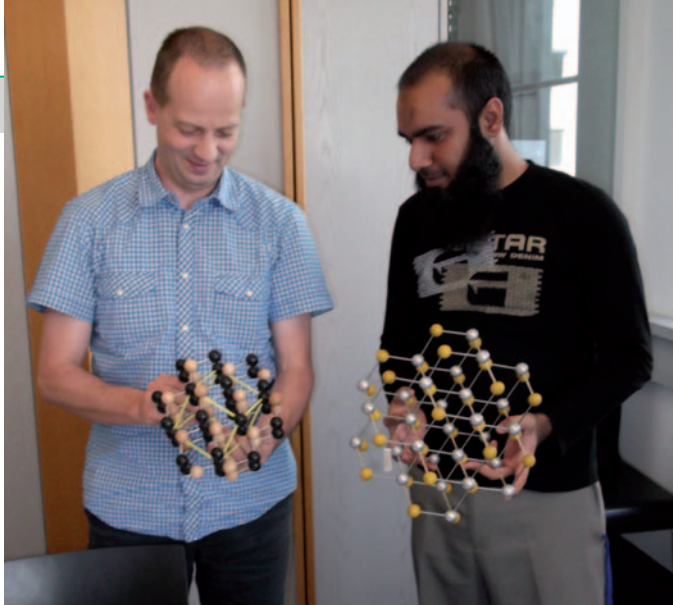


Abb. 3: Dr.-Ing. Johannes Rödel und Muhammad Ajmal Choudhary (v.l.) mit zwei Modellen, welche die kristalline Grundstruktur von Metallen auf der atomaren Ebene zeigen (Foto: Lehrstuhl für Material- und Prozesssimulation, Universität Bayreuth).

Rechnerkapazitäten, die der Materialforschung zur Verfügung standen, sich beständig vergrößerten, konnten für wichtige Werkstoffklassen Materialzusammensetzungen und Prozessparameter in Simulationen viel umfangreicher variiert werden, als dies in Experimenten je möglich gewesen wäre. So ließen sich – was vorher noch undenkbar schien – wesentliche systematische Beziehungen zwischen Prozessparametern, Materialzusammensetzungen und resultierenden Werkstoffeigenschaften ableiten.

Der Lehrstuhl für Material- und Prozesssimulation (MPS) an der Universität Bayreuth treibt diese Entstehung neuer Werkstoffe sowohl in der Grundlagenforschung als auch in Zusammenarbeit mit Industriepartnern weiter voran – beispielsweise durch die Koordination des von der Europäischen Union geförderten Projekts SIMCHAIN. Das Ziel des Forschungsverbunds ist es, die Entwicklung von Mikrostrukturen und die daraus resultierenden Eigenschaften zu simulieren – mit dem Ziel, die daraus gewonnenen Erkenntnisse in industriellen Fertigungsprozessen von Turbinenschaufeln umzusetzen. Diese Forschungsarbeiten stehen in engem Zusammenhang mit dem computergestützten Design neuer Superlegierungen (vgl. Abb. 2). Diese setzen sich aus exakt definierten Anteilen unterschiedlicher Metalle zusammen und zeichnen sich dadurch aus, dass sie selbst bei sehr hohen Temperaturen härter als Stahl sind. Sie besitzen eine hervorragende Oberflächenstabilität und sind nicht anfällig für Korrosions- oder Oxidationsprozesse.

Das technische und wirtschaftliche Interesse an derartigen Hochtemperaturwerkstoffen ist enorm, beispielsweise in der Flugzeugindustrie und der Raumfahrt. Denn die Wirkungsweise von Kraftwerken, Turbinen, Motoren und weiteren Systemen der Energietechnik kann mit neuen Materialien, welche die Eigenschaften von metallischen Werkstoffen und Keramiken extrapolieren, erheblich verbessert

werden. Eine Vielzahl von Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet ist im DFG-geförderten Graduiertenkolleg „Stabile und metastabile Mehrphasensysteme bei hohen Anwendungstemperaturen“ entstanden, das gemeinsam vom Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe mit einem Forschungspartner an der Universität Erlangen-Nürnberg geleitet wird.

Bei allen diesen Forschungserfolgen war und ist die Denkweise grundsätzlich ‚nach vorn‘ gerichtet: ausgehend von Prozessparametern und Materialzusammensetzungen hin zu den resultierenden Werkstoffeigenschaften.

### Ein neues Paradigma in Forschung und Industrie: Inverses Materialdesign

Der weltweite Konkurrenzdruck auf dem Gebiet neuer, hochbelastbarer Funktionsmaterialien fördert heute aber eine „inverse“ Denkweise. Diese geht von den gewünschten funktionalen Eigenschaften aus, die ein Material besitzen soll, und führt zurück zu einem maßgeschneiderten Material, das genau diese Eigenschaften besitzt. Der ‚Rückweg‘ aber führt nicht über Experimente im Labor, sondern wird von Hochleistungsrechnern bewerkstelligt. Diese sollen aufgrund umfassender materialphysikalischer Daten imstande sein, auf der Basis der gewünschten Eigenschaften zurückzurechnen und ein möglichst kostengünstiges Material zu identifizieren, das tatsächlich alle diese Eigenschaften aufweist. Zugleich sollen sie einen möglichst kostengünstigen Prozess identifizieren können, der zur Herstellung des Wunschmaterials führt.

Genau dies ist das Paradigma des inversen Materialdesigns, das sich heute in der Forschung zu etablieren beginnt. Es gilt unter wissenschaftlichen wie unter ökonomischen Aspekten als große Herausforderung und wird in den nächsten zwei Jahrzehnten voraussichtlich mit neuen Entwicklungen verbunden sein.

Was sind die wichtigsten Schritte, die bei einem solchen inversen Materialdesign durchlaufen werden müssen, und welcher Rechenaufwand ist dabei erforderlich? Das folgende Beispiel soll diesen Prozess verdeutlichen. Es geht dabei um sogenannte „superharte Beschichtungen“. Rund 90 Prozent aller Schneidwerkzeuge werden heute so beschichtet, was die enorme wirtschaftliche Bedeutung zeigt. Angenommen nun, man würde ein neuartiges, extrem hartes Werkzeug herstellen

- 1 Dierk Raabe (Hg.): Computational Materials Science: The Simulation of Materials Microstructures and Properties. Weinheim (u.a.), 1998; ebenso Sidney Yip (Hg.): Handbook of Materials Modeling. Berlin 2005.
- 2 Z. Xiao Guo (Hg.): Multiscale Materials Modeling – Fundamentals and Applications. Cambridge 2007.
- 3 G.H. Johannesson et al.: Combined Electronic Structure and Evolutionary Search Approach to Materials Design, in: Phys. Rev. Lett. 88, 255506 (2002).
- 4 Leslie Mushorenga et al.: Effect of Re on directional-coarsening in commercial single crystal Ni-base superalloys: A phase field study, Acta Materialia, 93, S. 60-72 (2015).



wollen, das ein ganz spezielles Eigenschaftsprofil besitzt. Dann startet man eine Computersimulation, die zunächst einmal eine möglichst große Zahl potenzieller Materialzusammensetzungen daraufhin überprüft, welche von ihnen das angestrebte Eigenschaftsprofil besitzt. Besonders hilfreich sind dabei Data Mining-Methoden aus der Informatik.<sup>3</sup>

Wenn man diese Verfahren anwendet, um extrem harte Werkstoffe herzustellen, arbeitet man in der Regel mit Materialmodellen auf der Elektronen- und der Atomskala. Ein Material, das sich dabei als besonders vielversprechend erweist, ist dies aber nur insofern, als man so zunächst lediglich seine idealisierten Härtewerte kennt: also die Härtewerte eines unbelasteten, thermisch nicht angeregten Materials. Denn nur diese Werte werden auf der Elektronen- und der Atomskala erfasst. *Tatsächlich* beobachtet man jedoch, sobald das betreffende Material im Experiment getestet wird, andere Werte. Dies hängt mit physikalischen Phänomenen zusammen, die sich nicht auf der Elektronen- und der Atomskala, sondern auf einer weit größeren Skala abspielen.

Was folgt daraus für die Hochleistungsrechner, die Materialsysteme identifizieren sollen, die unter *realen* Bedingungen – also auch im Zustand der thermischen Anregung – eine extreme Härte aufweisen? Gefragt sind Simulationen, die nicht bei der Elektronen- und der Atomskala stehen bleiben, sondern überdies auch die Dislokations- und Korn-grenzbewegungen auf der größeren Skala erfassen. Sie sollen in der Lage sein, mit Bezug auf eine möglichst große Vielzahl von Materialsystemen die Unterschiede zwischen idealen und realen Härte-werten zu erkennen. Auf dieser Basis wird es dann in weiteren Schritten möglich sein, die systematischen Beziehungen zwischen idealen und realen Kenngrößen möglichst exakt zu beschreiben. Je besser dies gelingt, desto eher ist gewährleistet, dass die Simulationen letztlich zu Ergebnissen führen, die im Industriemaßstab für neue Hochtech-nologien genutzt werden können.

Damit aber wird klar: Ein inverses Materialdesign verlangt hochkomplexe Verknüpfungen von verschiedenen Rechenmodellen. Selbst wenn man sich zunächst darauf zurückziehen würde, das ‚Data Mining‘ auf einige gut bekannte Materialsysteme zu beschränken: Die durch ein ‚Zurückrechnen‘ ermöglichte Identifikation von Materialien, die sich durch *reale* und daher industriell relevante Eigen-schaftsprofile auszeichnen, bliebe immer noch sehr

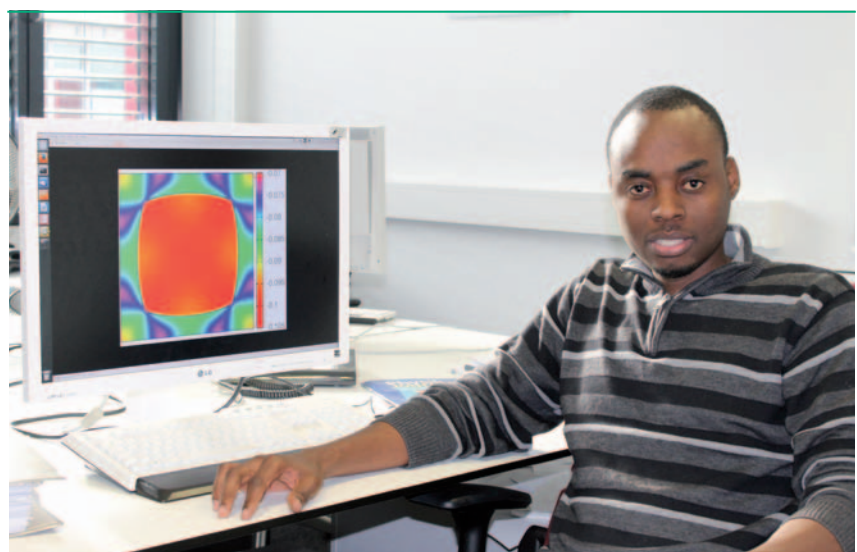
aufwändig. Allein schon die Berechnung *idealisiert*er Härtewerte verlangt hohe Rechenleistungen. So würde man beispielsweise 700 Prozessoren eines leistungsstarken Parallelrechenclusters benötigen, um basierend auf kleinsten Längen- und Zeitskalen die elastischen Konstanten und die daraus resultierenden idealisierten Härtewerte für rund 28.000 Materialsysteme in einem Jahr zu berechnen. Erst damit aber bekommt man einen umfassenden Überblick über alle binären und ternären Systeme.

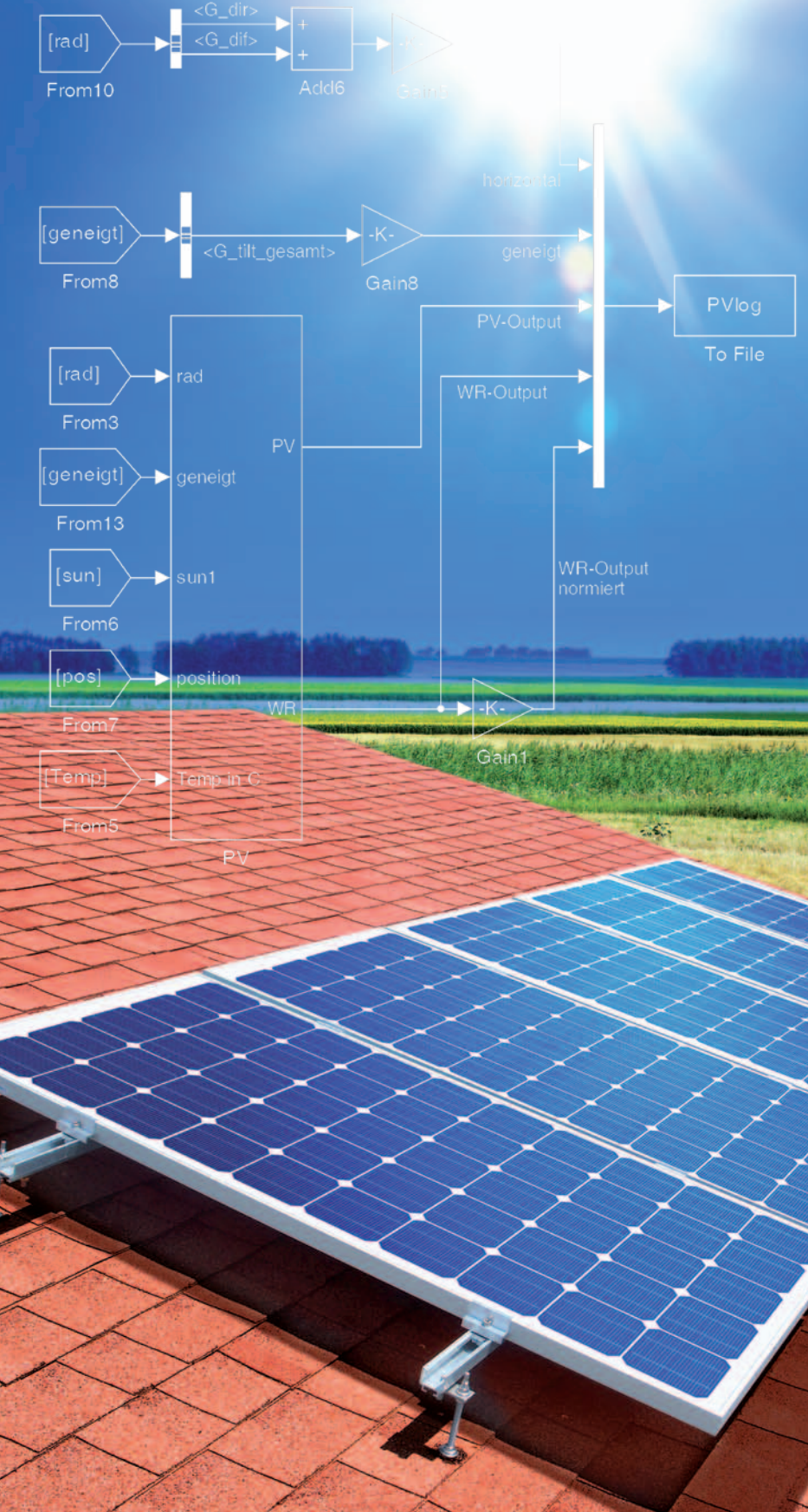
„DIE ENTWICKLUNG IN RICHTUNG EINES INVERSEN, COMPUTER-BASIERTEN MATERIALDESIGNS HAT GERADE ERST BEGONNEN.“

Gleichwohl gibt es bereits wichtige Forschungserfolge auf dem Weg zu einem inversen Materialdesign – wie beispielsweise die Studien, die von Leslie T. Mushongera in seiner Dissertation am Lehrstuhl für Material- und Prozesssimulation an der Universität Bayreuth durchgeführt wurden. Darin geht es um die Sensitivität von Legierungsvariationen. Kürzlich wurden die beiden Superlegierungen CMSX4 und CMSX6 miteinander verglichen und extrapolierend eine sogenannte Sensitivitätsstudie durchgeführt. Dabei wurde untersucht, wie die Konstituenten optimal zu verändern wären, um in einem neuen Materialverband die mechanischen Eigenschaften zu optimieren.<sup>4</sup>

Die Entwicklung in Richtung eines inversen, computerbasierten Materialdesigns hat gerade erst begonnen, und die Universität Bayreuth zählt in Deutschland zu den Pionieren, die daran mitwirken. Es wird spannend sein zu verfolgen, wie Fortschritte bei der Verkürzung notwendiger Rechenzeiten und bei der Identifikation hochleistungs-fähiger Materialien in den nächsten zwei Dekaden ineinander greifen werden.

Abb. 4: Leslie T. Mushongera bei Forschungsarbeiten in Richtung eines inversen Materialdesigns (Foto: Christian Wißler).





# Digitalisierung als Motor der Energiewende

VON 72 MILLIONEN  
ARBEITSFLUIDEN UND  
157.680 WETTERDATEN

■ Zunehmend viele Privathaushalte in Einfamilienhäusern versuchen mit Solarstrom dem Ideal der Energieautarkie nahezukommen. Im Vordergrund: Ausschnitt aus dem Matlab/Simulink -Ablaufdiagramm für die Simulation und Analyse photovoltaischer Anlagen (Foto: sst / Grafik: Christian Pötzinger).



Die Energieversorgung in Deutschland befindet sich derzeit in einem großen Wandel: Kernkraftwerke werden abgeschaltet, Kohlekraftwerke heruntergefahren, elektrischer Strom soll immer mehr durch erneuerbare Energien und dezentral erzeugt werden. Das Angebot an Sonne und Wind ist jedoch naturgemäß starken Schwankungen unterworfen. Für deren Ausgleich braucht man neuartige Energiekonzepte. Einzelsysteme müssen „neu“ erfunden und in ein komplexes Netzwerk der Energiegewinnung und -speicherung integriert werden. Das Zentrum für Energietechnik (ZET) der Universität Bayreuth trägt mit seinen Forschungsarbeiten dazu bei, für die große Herausforderung der „Energiewende“ innovative Lösungen zu entwickeln. Welche zentrale Bedeutung dabei die Digitalisierung hat, zeigen beispielhaft die beiden folgenden Projekte des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT).

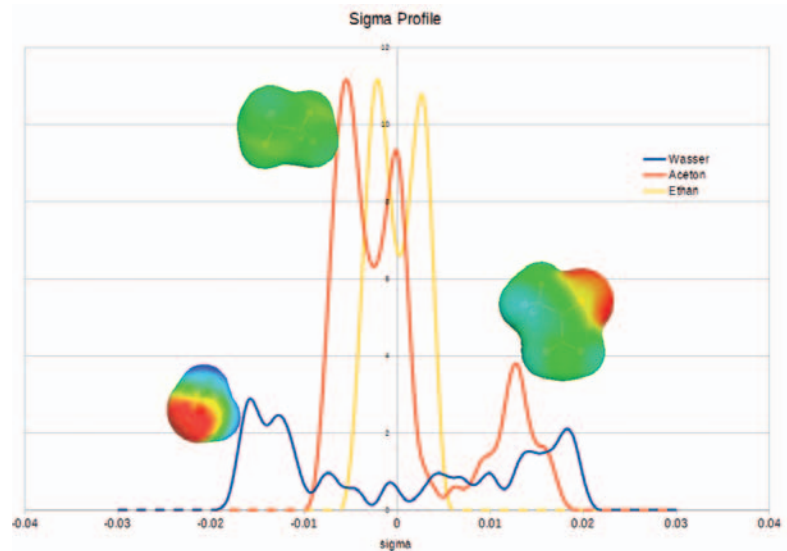
### AUF DER SUCHE NACH DER NADEL IM HEUHAUFEN

Die konventionelle Stromerzeugung in Kraftwerken gründet sich auf dem sogenannten Clausius-Rankine-Kreisprozess. Hier entstehen bei der Verbrennung von Kohle oder Erdgas so hohe Temperaturen, dass Wasser ein ausgezeichnetes Arbeitsmittel ist. Es wird unter hohem Druck verdampft, treibt eine Turbine mit Generator an und wird nahe der Umgebungstemperatur wieder verflüssigt. Ein ähnliches Konzept wird beim Organic Rankine Cycle (ORC) verfolgt, der seit einigen Jahren vor allem für die Stromerzeugung aus Geothermie und Abwärme genutzt wird. Für die Umwandlung von Wärme von so niedriger Temperatur ist Wasser aber nicht geeignet. Daher werden stattdessen organische Stoffe als Arbeitsfluid eingesetzt. Sie erreichen schon bei geringeren Temperaturen genügend hohe Dampfdrücke. Bei den bisher verwendeten organischen Stoffen handelt es sich meistens um Substanzen, die man bereits aus anderen technischen Bereichen gut kennt. Häufig sind es Kältemittel, wie man sie auch in Kühlschränken einsetzt. Aber gibt es vielleicht für den ORC noch besser geeignete Substanzen?

In einem Projekt der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) hat das ZET – gemeinsam mit

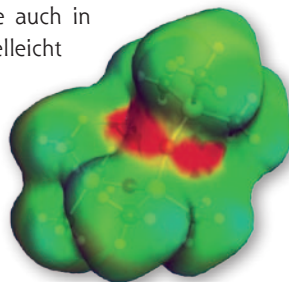
der COSMologic GmbH & Co. KG in Leverkusen – die Nutzung der im Straßenverkehr entstehenden Abgaswärme, zum Beispiel bei Lastkraft- und Personenwagen, untersucht. Rund 20 weitere Industriepartner haben an dem Vorhaben mitgearbeitet. Das gemeinsame Ziel war es, schnelle und automatisierte thermodynamische Prozesssimulationen zu entwickeln, die es in Kombination mit Methoden der Computerchemie ermöglichen, aus der immensen Zahl an chemischen Substanzen ein ideales ORC-Arbeitsfluid zu identifizieren. Der hohe digitale Aufwand für die nötige schnelle Durchmusterung aller infrage kommenden Kandidaten war auch für das ZET Neuland, das bereits seit zehn Jahren einen Schwerpunkt in der ORC-Forschung gesetzt hat.

Abb. 1: Zahlreiche Untersuchungsschritte sind erforderlich, damit festgestellt werden kann, ob eine Substanz als Arbeitsfluid geeignet ist. Insbesondere müssen zunächst ihre Elektronenakzeptor- und Elektronendonator-Eigenschaften ermittelt werden. Über diese Eigenschaften gibt das Sigma-Profil der Substanz Auskunft. Die Grafik zeigt die Sigma-Profile von Wasser (blaue Kurve), Aceton (rote Kurve) und Ethan (gelbe Kurve) (Grafik: COSMologic GmbH u. Co. KG).



Gemeinsam mit den Fachleuten von COSMologic wurden

- Daten von 72 Millionen Arbeitsfluiden betrachtet,
- 3 Millionen quantenmechanische Berechnungen angestellt,
- nahezu 10.000 Infrarot-Spektren ausgewertet
- und zuletzt nahezu 20.000 thermodynamische Prozesssimulationen durchgeführt.



Dabei stellten sich insbesondere zwei Herausforderungen: Zunächst musste ein geeigneter Weg gefunden werden, um die diskretisierten thermodynamischen Stoffdaten an ein Simulationstool zu übergeben. Die üblicherweise in der Thermo-

Abb. 2: Oktamethyltrisiloxan ist eine der Substanzen, die im ZET daraufhin untersucht wurden, ob sie sich als Arbeitsfluide für ORC-Systeme eignen. Die Grafik zeigt die Oberflächenpolarität: Grün dargestellt ist die unpolare Alkylgruppe, rot die polare Siloxangruppe (Grafik: COSMologic GmbH u. Co. KG).

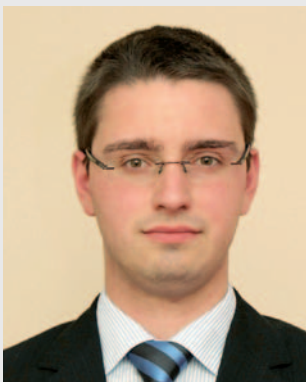
AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann ist Inhaber des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) und Direktor des Zentrums für Energietechnik (ZET) an der Universität Bayreuth.



Dr.-Ing. Markus Preißinger ist Geschäftsführer des ZET und Gruppenleiter am LTTT.



Christian Pötzinger, M.Sc., ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am LTTT.

dynamik vorkommenden kontinuierlichen Funktionen kamen dafür nicht infrage. Deshalb wurden sogenannte Look-Up-Tables verwendet, die vollautomatisiert nach dem gesuchten Stoffwert durchsucht werden können. Die anschließende Verarbeitung erfolgte dann in DetailSimORC, einem im ZET entwickelten Simulationstool für Systeme zur Abwärmenutzung. Die Entwicklung dieses Tools war nötig, da kommerzielle Simulationstools nicht mit den erstellten Look-Up-Tables kommunizieren können.

Aufbauend auf der Umgebung MATLAB ist es schließlich gelungen, die gemeinsame Aufgabe zu lösen: das Durchsuchen des Heuhaufens aus 72 Millionen chemischen Substanzen nach der Nadel, also dem effizientesten Arbeitsfluid. Genau genommen, wurde nicht die eine Nadel entdeckt, doch das ZET konnte den Industriepartnern mehrere vielversprechende Arbeitsfluide vorschlagen. Darunter waren auch solche organische Stoffe, die in der Energieforschung bisher noch nie als Kandidaten für ORC-Systeme in Betracht gezogen und getestet wurden. Dieser Erfolg bestätigte auch die Leistungsfähigkeit der thermodynamischen Prozesssimulationen, die im ZET für die Suche konzipiert und angewendet wurden. Aus dem volldigitalisierten Workflow sind wichtige Impulse für die jetzt anstehenden experimentellen Arbeiten hervorgegangen, in denen die ausgewählten Arbeitsfluide unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten geprüft werden. So besteht die begründete Aussicht, dass der Verkehrssektor zukünftig noch energieeffizienter werden kann.

### AUF DEM WEG ZUR WASSERSTOFFGESELLSCHAFT

Wie wichtig umfangreiche Simulationen für die Optimierung von Energiesystemen mittlerweile geworden sind, zeigt sich auch im Bavarian Hydrogen Center (BHC). Dieses Netzwerk bayerischer Hochschulen und Forschungseinrichtungen hat sich die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft zum Ziel gesetzt. In Bayreuth arbeitet im Rahmen dieses Vorhabens eine Forschungsgruppe für Systemanalyse um Prof. Dr. Dieter Brüggemann an innovativen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff. Es besteht dabei eine enge Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg und der OTH Amberg-Weiden.



Wasserstoff gewinnt für die Energieversorgung von Privathaushalten immer mehr an Bedeutung. Denn sowohl in Einfamilienhäusern als auch in größeren Wohneinheiten steigt die Zahl der Photovoltaik-Anlagen. Umso wichtiger werden leistungsstarke Speichersysteme. Sie sollen die am Tag oft überschüssige elektrische Energie speichern und in der Nacht zur Verfügung stellen. Die dezentrale Stromerzeugung und die Speichersysteme in das komplexe Netzwerk der gesamten Energieversorgung zu integrieren, stellt eine besondere Herausforderung dar. Hierfür müssen thermische und elektrische Phänomene in der digitalen Welt abgebildet und miteinander verknüpft werden. Mit dem Ziel, das Verhalten von Energiespeichern untersuchen und insbesondere ihre Effizienz bewerten zu können, ist am ZET eine neue Simulationssoftware entwickelt worden. Sie basiert auf den Programmen MATLAB und Simulink und wird erfolgreich bei Arbeiten zur Optimierung von Energiesystemen eingesetzt.<sup>1</sup>

**„DIE DEZENTRALE STROMERZEUGUNG  
UND DIE SPEICHERSYSTEME IN DAS  
KOMPLEXE NETZWERK DER  
GESAMTEN ENERGIEVERSORGUNG ZU  
INTEGRIEREN, STELLT EINE BESONDERE  
HERAUSFORDERUNG DAR.“**

Eine wichtige Aufgabe ist es zunächst einmal, den Energiebedarf von Wohnhäusern im Tages- und





Energieströme bestimmen, die in den Speicher – zum Beispiel Wasserstoffspeicher oder Blei- oder Lithium-Ionen-Batterien – hineinfließen und von diesem wieder zur Verfügung gestellt werden können. Das Modell macht es somit möglich, dieses kleine Energiesystem im Wohnhaus für jeden der 157.680 Simulationsschritte zu bilanzieren und zu bewerten. Es bildet die Grundlage für Tausende von Simulationsdurchgängen, auf deren Grundlage sich die Zusammenhänge zwischen Wirkungsgraden, Leistungen und Speicherkapazitäten analysieren lassen. Am Ende steht, im Idealfall, ein

Abb. 3: Im Straßenverkehr entstehende Abgase sind in Verbindung mit der Sonneneinstrahlung eine Ursache für „Sommermog“; hier ein Beispiel aus Los Angeles. Die Nutzung der Abgaswärme wäre ein Beitrag zu höherer Energieeffizienz (Foto: David Iliff / CC-BY-SA 3.0 / Wikimedia Commons).

Jahresverlauf abzubilden. Dies kann mit Hilfe von Messdaten geschehen, die im Sekundentakt aufgenommen werden, oder auch mit Lastprofilmodellen in größeren Zeitschritten – beispielsweise von einer Minute oder einer Viertelstunde.

Zudem muss der Verlauf der Stromerzeugung aus der Photovoltaik-Anlage am Computer modelliert werden. Hierfür werden Daten einer Wetterstation eingesetzt, die den kontinuierlichen Verlauf der Globalstrahlung und der Außentemperatur mittels eines Pyranometers und eines Thermometers erfasst. Bei der Globalstrahlung handelt es sich um die gesamte Sonnenstrahlung, die direkt oder über Streuungseffekte (Diffusion) auf einer definierten Ebene am Erdboden auftritt. Die von der Wetterstation übermittelten Messdaten werden in diskrete digitale Daten umgewandelt und stehen mit einer Auflösung von 10 Minuten zur Verfügung.

Bei der Betrachtung eines Zeitraums von 3 Jahren ergeben sich somit 157.680 Datensätze, und es können in gewissem Maße auch die Auswirkungen von Wetterschwankungen berücksichtigt werden. In Simulink erfolgt dann die Verarbeitung dieser Wetterdaten, wobei die Globalstrahlung in direkte und diffuse Strahlung aufgeteilt wird. Anschließend wird die Strahlung auf die geneigte Ebene, in der Module der Photovoltaik-Anlage installiert sind, umgerechnet. Zusammen mit den gemessenen Außentemperaturen lässt sich die von der Anlage geleistete Stromerzeugung in ihrem zeitlichen Verlauf berechnen.

Ein weiteres Computermodell bildet das Verhalten des Speichersystems ab. Es kann so die

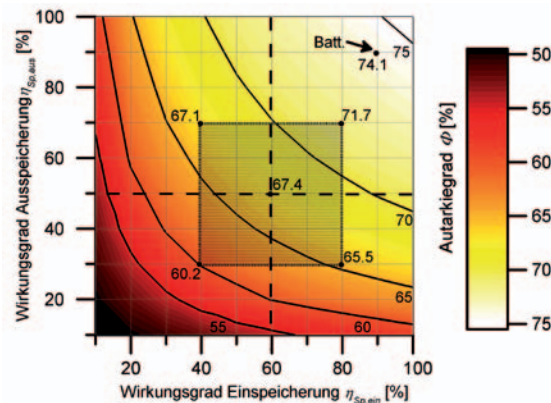


Abb. 4: Ein Einfamilienhaus ist autark, wenn alle benötigte Energie vor Ort erzeugt wird und verfügbar ist, so dass keine Energie von externen Anbietern bezogen werden muss. Mit Computersimulationen kann berechnet werden, wie weit ein Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage und einem Speichersystem diesem Ideal nahekommmt. Der schraffierte Bereich kennzeichnet die Eckpunkte für ein technisch mögliches Wasserstoffspeichersystem, wobei Umwandlungs- und Speicherverluste berücksichtigt werden. Oben rechts ist der Wirkungsgrad einer Batterie eingetragen (Bild: Christian Pöttinger).

optimales System der Erzeugung und Speicherung von Solarenergie in Wohnhäusern. Auch in der Nacht können Fernsehgeräte und Elektroherde mit Solarstrom betrieben werden.

Die analoge Messgröße der fluktuierenden Sonnenstrahlung mit diskreten Zeitschritten in der digitalen Welt so zu beschreiben, dass in der realen Welt eine optimierte und sicher funktionierende Energieversorgung gewährleistet werden kann – dies ist nur ein Beispiel für ein anspruchsvolles energietechnisches Entwicklungsziel, das heute mit Modellen und Simulationen realisierbar scheint. Das ZET wird auch in Zukunft darauf hinarbeiten, dass diese Vision Wirklichkeit wird.

1 Vgl. dazu Christian Pöttinger, Markus Preißinger and Dieter Brüggemann: Influence of Hydrogen-Based Storage Systems on Self-Consumption and Self-Sufficiency of Residential Photovoltaic Systems, in: Energies (2015) 8, 8887-8907.

Abb. 5: Wetterwarte auf dem Fichtelberg (Foto: Devilsanddust / CC-BY-SA 3.0 / Wikimedia Commons).







■ CYRUS SAMIMI  
MANUEL MAYR  
HARALD ZANDLER

## Die Erde aus der Ferne

DIE ERKUNDUNG VON KLIMAPARAMETERN UND VEGETATION MIT DIGITALER TECHNIK

■ Die Arbeitsgruppe Klimatologie an der Universität Bayreuth setzt ihre Drohne, einen sogenannten Copter, unter anderem auch bei Forschungsarbeiten in der Savanne Namibias ein. Die Drohne ist gegenwärtig mit einer Kamera für den sichtbaren Bereich und einer Kamera für das nahe Infrarot ausgestattet, mit dem sich grüne Vegetation randscharf erfassen lässt; hinzu kommt eine Thermalkamera (Foto: Cyrus Samimi).



**F**ernerkundung ist das beobachtende Erfassen von Informationen über ein Objekt, zu dem man nicht in direktem Kontakt steht. Waren es früher analoge Fotos, werden heute in der Fernerkundung praktisch nur noch digitale Verfahren verwendet – wenn beispielsweise Wettersatelliten die Wolkenbewegungen beobachten oder wenn GoogleEarth fast jeden Erdwinkel in bestechender Auflösung zeigt.

Diese Entwicklung begann in den 1970er Jahren, als die ersten zivilen Fernerkundungssatelliten ins All geschossen wurden. Mittlerweile dürften es deutlich über 100 Satelliten sein, die zum Zweck der Erdbeobachtung im Einsatz sind und neben digitalen Originaldaten, die am Computer weiterverarbeitet werden müssen, sogenannte Datenprodukte liefern. Diese werden beispielsweise von der U.S.-amerikanischen National Aeronautics and Space Administration (NASA) oder der European Space Agency (ESA) standardmäßig hergestellt und oft kostenfrei zur Verfügung gestellt.<sup>1</sup> Die Datenprodukte liefern gute Überblicke, müssen aber für wissenschaftliche Fragestellungen kritisch hinterfragt werden, was am besten durch intensive Geländearbeit geschieht.

## SATELLITEN UND DROHNEN IM DIENST DER KLIMAFORSCHUNG

Für tägliche Wettervorhersagen reichen die von Wettersatelliten gelieferten Aufnahmen der Wolkendynamik, die eine Auflösung zwischen 1 und 5 km haben, völlig aus. Satelliten, die gezielt zur Beobachtung von Prozessen auf der Erdoberfläche

eingesetzt werden, erreichen dagegen bei grober Auflösung eine räumliche Auflösung zwischen 500 und 1000 m, bei kleiner Auflösung zwischen 5 und 30 m.<sup>2</sup> Für die wissenschaftliche Forschung ist die zeitliche Auflösung oftmals wichtiger. Denn nur wenn die Abstände zwischen den einzelnen Bildern nicht zu groß sind, lassen sich Veränderungen der Vegetation oder – bei Wolkenfreiheit – die Entwicklung von Ackerfrüchten erfassen.

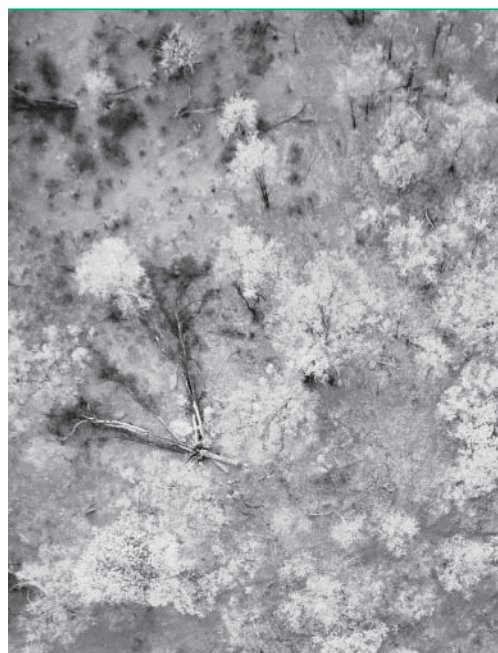
Zusätzlich zu den Satelliten haben flugzeuggestützte Systeme schon immer eine gewisse Rolle in der Fernerkundung gespielt. In jüngster Zeit aber hat sich die Entwicklung von Drohnen für wissenschaftliche Zwecke rasant beschleunigt. Drohnen sind mobil einsetzbar, werden vom Erdboden aus ferngesteuert und lassen Aufnahmen aus geringer Höhe und damit sehr hoher räumlicher Auflösung zu. Wie bei Satelliten wird die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen erfasst. So können auf Drohnen gleichzeitig verschiedene Kameras installiert werden:

- normale Kameras, die das sichtbare Spektrum der Strahlung aufnehmen
- Multispektralkameras, die die Strahlung aufgelöst in vielen Wellenlängenbereichen erfassen
- Thermalkameras, mit denen Oberflächentemperaturen abgeleitet werden.

Auch die Arbeitsgruppe Klimatologie an der Universität Bayreuth verfügt seit kurzem über eine eigene Drohne. Sie setzt Fernerkundungsdaten für klimatologische und klimaökologische Untersuchungen in den verschiedensten Regionen der Erde ein, wie die folgenden Beispiele zeigen.

## KLIMA UND ÖKOSYSTEME IN DER SUBSAHARISCHEN SAVANNE

Im subsaharischen Afrika geht es um die Entwicklung der Vegetation in Ökosystemen der Savanne. Welchen Einfluss haben Klima, Landnutzung und Feuer? Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts konnte für die Beispielregionen im westafrikanischen Sahel gezeigt werden, dass Veränderungen im Jahresverlauf der Niederschläge nur eine eher untergeordnete Rolle bei Veränderungen der Vegetation spielen. Zwar nehmen die Niederschläge seit der ausgeprägten Dürrephase in den 1970er Jahren wieder etwas zu,



## AUTOREN



Prof. Dr. Cyrus Samimi ist Leiter der Abteilung für Klimatologie an der Universität Bayreuth.



Mag. rer. nat. Manuel Mayr ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung für Klimatologie.



Mag. rer. nat. Harald Zandler ist Projektmitarbeiter in der Abteilung Klimatologie.

Abb. 1: Copter-Aufnahme über der Savanne in Namibia. Klimaökologische Veränderungen werden hier von den Bayreuther Doktoranden Manuel Mayr und Elisabeth Ofner sowie von der Bayreuther Master-Studentin Sophia Maßl untersucht (Bild: Abteilung für Klimatologie, Universität Bayreuth).

Abb. 2 und 3: Vegetationsunterschiede zwischen benachbarten Regionen im westafrikanischen Sahel (Fotos: Martin Brandt).



aber diese leichte Steigerung erklärt nur zum Teil die aus Satellitendaten abgeleitete großflächige Zunahme der Vegetation, die als „Greening Sahel“ die internationale Aufmerksamkeit von Wissenschaft und Medien geweckt hat. Hauptverantwortlich für diesen positiven Trend sind, wie sich gezeigt hat, Maßnahmen zum Schutz und zur Förderung der Gehölzvegetation. Zudem haben umfangreiche Geländearbeiten und hoch auflösende Fernerkundungsdaten sehr uneinheitliche Ergebnisse zutage gefördert. Kleine Regionen, die sehr ähnliche Niederschlagsverläufe aufweisen, unterscheiden sich dennoch durch positive, stabile und negative Trends in der Vegetationsentwicklung.<sup>3</sup>

Auch bei den Bayreuther Forschungsarbeiten in Namibia steht die Frage im Mittelpunkt, wie sich die jährlichen Niederschlagsverläufe, die Landnutzung und Brände auf die Dynamik und die Struktur der Vegetation auswirken. Neben der Messung von Klimaparametern und intensiven Geländearbeiten kommen Fernerkundungssysteme zum Einsatz. Hierbei liefern nicht nur Satelliten, sondern auch Detailbefliegungen mit einem Copter wertvolle Daten. Denn die sehr detaillierten Copter-Aufnahmen erfassen auch Objekte und Strukturen, die kleiner als 1 Meter sind. So soll versucht werden, die Maßstabslücke zwischen den

Geländearbeiten und den Satellitenaufnahmen, mit Auflösungen zwischen 5 und 30 Metern zu schließen. Die Abb. 1 im nahen Infrarot (NIR) ist im September 2015 nordöstlich von Grootfontein entstanden. Am Ende der Trockenzeit beginnen erste Bäume neue Triebe und grüne Blätter auszubilden. Grüne Vegetation reflektiert sehr stark im nahen Infrarot, so dass die Kronen der Bäume gut zu erkennen sind. Totholz und unbelaubte Bäume reflektieren hingegen kaum und sind so an den grauen und schwarzen Tönen zu erkennen.<sup>4</sup>

Die aktuellen Untersuchungen schließen an langjährige Forschungsarbeiten im subsaharischen Afrika an, in denen es darum ging, den Umfang der Biomasse, den Blattflächenindex – also den Anteil der von Laub bedeckten Erdoberfläche – sowie weitere klimaökologische Parameter zu bestimmen. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bioprozesstechnik an der Universität Bayreuth sollen die Forschungsarbeiten auf Ostafrika ausgeweitet werden, um das Potenzial von Gehölzbiomasse als Energielieferant besser abschätzen zu können.

Abb. 4: Der Bayreuther Doktorand Harald Zandler beim Auslesen einer Messstation im Ostpamir, hier mit tadschikischen Wissenschaftlern (Foto: Cyrus Samimi).



## ENERGIEPOTENZIALE IM ZENTRALASIATISCHEN HOCHGEBIRGE

Ein von der VolkswagenStiftung gefördertes Forschungsprojekt befasst sich mit der Gewinnung erneuerbarer Energien in einem zentralasiatischen Hochgebirge, dem Ostpamir in Tadschikistan. Es sollen hier nicht nur die Ressourcen für Solar- und Windenergie abgeschätzt, sondern auch der Umfang der Gehölzbiomasse ermittelt werden, die für die Energieerzeugung zur Verfügung steht. Im ariden Hochgebirgsklima des Ostpamir, das kein Baumwachstum zulässt, spielen Zwergsträucher eine herausragende Rolle als Futter- und als Energiepflanze. Eine Übernutzung dieser Ressource gilt es daher zu vermeiden. Sie könnte die Ökosysteme in der Region und die Lebenshaltungsstrategien der Bevölkerung erheblich beeinträchtigen.



Die Arbeitsgruppe Klimatologie an der Universität Bayreuth war und ist an diesen Forschungsarbeiten wesentlich beteiligt. Einem Bayreuther Nachwuchswissenschaftler gelang es, Modelle zur Quantifizierung der Gehölzbiomasse zu entwickeln und – was sehr wichtig war – an die regionalen Verhältnisse anzupassen. Als große Herausforderung erwies sich dabei die sehr geringe Vegetationsbedeckung im Ostpamir. Die spektralen Signale, die von den grünen Bestandteilen der Pflanzen ausgingen, unterschieden sich nur schwach von den spektralen Signalen des umgebenden Erdbodens. Dies und der beträchtliche Anteil nicht-grüner Pflanzenbestandteile machten es nötig, neben Multispektraldaten auch Hyperspektraldaten eines experimentellen Satelliten zu verwenden. Dieser zeichnet die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung differenziert in bis zu 242 Wellenlängenbereichen auf.

Die Untersuchungen, an denen auch Forschungspartner an der FU Berlin und der Universität Stuttgart mitgewirkt haben, widerlegten schließlich frühere Annahmen, wonach im Ostpamir eine schwere und dauerhafte Energiekrise vorherrscht. Im Gegenteil: Der Bedarf an Gehölzbiomasse zum Zweck der Energiegewinnung kann mittelfristig gedeckt werden.<sup>5</sup>

### UNEINHEITLICHES STADTKLIMA IN OBERFRANKEN

Im Rahmen von umweltwissenschaftlichen Studiengängen an der Universität Bayreuth finden regelmäßig Übungen zur Geländeklimatologie statt, die darauf abzielen, die räumliche Heterogenität des Stadtklimas zu erfassen. Dafür werden Messungen an der Klimastation im Ökologisch-Botanischen Garten der Universität sowie an weiteren Klimastationen im Stadtgebiet durchgeführt; die Daten werden durch mobile Messungen ergänzt. Im Sommer 2015 kam auch ein Copter mit Thermalkamera zum Einsatz. Vor Sonnenaufgang zur kältesten Zeit des Tages und am Nachmittag zum heißesten Zeitpunkt wurden ausgewählte Bereiche der Innenstadt überflogen, um hier die Oberflächentemperaturen zu ermitteln.

Die Abb. 5 vom 7. August 2015 zeigt die Einfahrt zu den Bayreuther Stadtwerken in der Jean-Paul-Straße am Nachmittag. Die höchsten Oberflächentemperaturen von etwas über 70 °C erreichte das nach Südwesten ausgerichtete Dach der Stadtwerke,

die kühleren Temperaturen betragen etwa 25 °C in dauerhaft beschatteten Bereichen. Sehr schön zeigt sich, dass die Straße selbst bei unmittelbarer Nachbarschaft der Bäume und die Einfahrt ca. 55 °C aufweisen. Die kleinen Grüninseln sind fast 15 Kelvin (15 °C) kälter und grenzen sich scharf ab.

### AUSBLICK

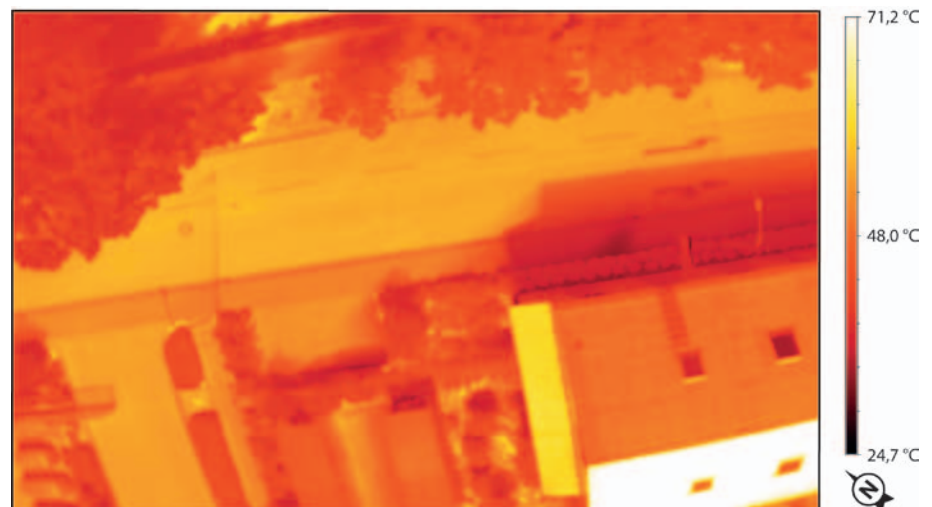
Mittlerweile dürfte jeder Punkt der Erde von einem Fernerkundungssystem erfasst worden sein, so dass die Digitalisierung der Erdoberfläche im Prinzip abgeschlossen ist. Schon in naher Zukunft sind weitere Fortschritte zu erwarten, insbesondere

- eine weitere Spezialisierung der Datenerfassung mit Sensoren, die über eine höhere räumliche und spektrale Auflösung verfügen,
- eine kontinuierliche Einbeziehung von Wellenlängenbereichen, die bisher selten erfasst wurden, wie beispielsweise Radar und Mikrowellen,
- häufigere Aufnahmen und dadurch eine bessere zeitliche Auflösung der Bilder.

Bei allen Fortschritten in der Satellitentechnik wird es aber immer erforderlich bleiben, die gewonnenen Daten bei intensiven Geländearbeiten am Boden zu überprüfen und anzupassen. Nur so lassen sich gesicherte Aussagen über Prozesse und Strukturen auf der Erdoberfläche treffen. Einer solchen geländegestützten Fernerkundung wird sich die Arbeitsgruppe Klimatologie an der Universität Bayreuth auch in den kommenden Jahren widmen.

- 1 Beispiele für solche Datenprodukte sind das Projekt „GlobCover2000“, das vom Joint Research Center (JRC) der Europäischen Union initiiert wurde und über die Landbedeckung der Erde informiert, oder die Tropical Rainfall Measuring Mission, die gemeinsam von der NASA und der japanischen Weltraumagentur JAXA betrieben wurde. Ein Satellit lieferte ab 1997 alle drei Stunden Niederschlagswerte für den gesamten Erdgürtel zwischen 50 Grad nördlicher und südlicher Breite und wurde 2014 vom Erdbeobachtungssatelliten „Global Precipitation Measurement“ abgelöst.
- 2 Manche der heutigen kommerziellen Satelliten liefern sogar Bilder, die eine Auflösung von weniger als 1 m haben – allerdings sind diese Aufnahmen sehr teuer.
- 3 Martin Brandt et al.: Environmental change in time series and high resolution imagery - An interdisciplinary study in the Sahel of Mali and Senegal, in: Journal of Arid Environments (2014), 105, S. 52-63.
- 4 Vgl. dazu Manuel Mayr and Cyrus Samimi: Comparing the Dry Season In-Situ Leaf Area Index (LAI) Derived from High-Resolution RapidEye Imagery with MODIS LAI in a Namibian Savanna, in: Remote Sensing (2015), 7(4), S. 4834 - 4857.
- 5 Zu den Untersuchungsergebnissen siehe auch: Harald Zandler et al.: Quantifying dwarf shrub biomass in an arid environment: Comparing empirical methods in a high dimensional setting, in: Remote Sensing of Environment (2015), 158(1), S. 140-155.

Abb 5: Aufnahme mit einer Thermalkamera über der Einfahrt zu den Bayreuther Stadtwerken im Hochsommer 2015 (Bild: Abteilung für Klimatologie, Universität Bayreuth).





■ ANDREAS HOHMANN  
MICHA PIETZONKA  
VOLKER AUDORFF

# Digitalisierung im Sport

VON TALENTDIAGNOSEN BIS ZU OUTDOOR-AKTIVITÄTEN

■ Digitale Technik unterstützt auch im zunehmend populären Outdoor-Sport eine gezielte Förderung von Gesundheit und Fitness (Foto: Amer Sports Deutschland GmbH).



Seit den Olympischen Spielen in Barcelona 1992 hat Deutschland den Anschluss an die Spitze der führenden Sportnationen USA und China weitgehend verloren. Die Rückkehr auf das olympische Podium setzt nicht allein moderne Konzepte des langfristigen Leistungsaufbaus zukünftiger Spitzensportlerinnen und -sportler voraus. Auch eine rechtzeitige Identifizierung und Sportartberatung von Nachwuchs-Talenten ist erforderlich. Der planvolle Aufbau eines nationalen Talentreservoirs verlangt

- eine möglichst bundesweite und flächendeckende Suche nach sportlich Hochbegabten (*talent search*),
- deren differenzierte motorische Beurteilung (*talent screening*)
- und Sportartempfehlungen, die aus den individuellen Persönlichkeitsprofilen wissenschaftlich fundiert abgeleitet werden (*talent orientation*).

### COMPUTERGESTÜTZTE TALENTDIAGNOSEN

Bei der großen Zahl von Sport treibenden Kindern und Jugendlichen müssen die individuellen Merkmalsprofile in *digitale Datenformate* überführt und als *big data* ausgewertet werden. Die frühe Talentdiagnose stützt sich in der Regel auf allgemeine Kontrollverfahren – beispielsweise den von der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (dvs) entwickelten Deutschen Motorik-Test 6-18. Hiermit können die motorischen Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 18 Jahren gemessen und bewertet werden. Der Lehrstuhl für Trainings- und Bewegungswissenschaft an der Universität Bayreuth führt regelmäßig den Fuldaer Bewegungs-Check<sup>1</sup> und den Shanghai Movement Check durch, der auf einer Kooperation der Universität Bayreuth mit der Shanghai University of Sport (SUS) hervorgegangen ist. In Shanghai wurden seit 2012 mehr als 6.000 Kinder und in Fulda in den Jahren 2010-2015 bereits über 8.000 Kinder der Region getestet. (Abb. 1) Dabei kommen in der Regel zehn motorische Testaufgaben zum Einsatz: (1) 20-m-Sprint, (2) Balancieren rückwärts auf einem Balken, (3) Seitliches Hin- und Herspringen,



(4) Rumpfbeuge, (5) Liegestütze, (6) Sit-ups, (7) Standweitsprung, (8) 6-min-Lauf, (9) Schlagball-Weitwurf und (10) komplexer Reaktionslauf. Hinzu kommen (11) Körperhöhe und (12) Körpergewicht.

Abb. 1: Motorische Tests mit Kindern an der Shanghai University of Sport (SUS). Vorn im Bild: Prof. Dr. Andreas Hohmann (Foto: privat).

Die Testergebnisse werden sofort in digitale Normwerte überführt. Dies geschieht per online-Datenübertragung auf einen Server der Universität Bayreuth. Hier werden die Testdaten mit deutschlandweit repräsentativen Referenzwerten abgeglichen und auf persönliche Teilnehmerurkunden übertragen. Dabei werden die Ergebnisse durch Perzentilrangbalken für jeden Test sowie ein zusammenfassendes Spinnennetzdiagramm veranschaulicht (Abb. 2). Die Urkunden werden wiederum in der Sporthalle vom Server abgerufen und den Kindern direkt übergeben. Neben den Testleistungen liefern die Urkunden drei per-

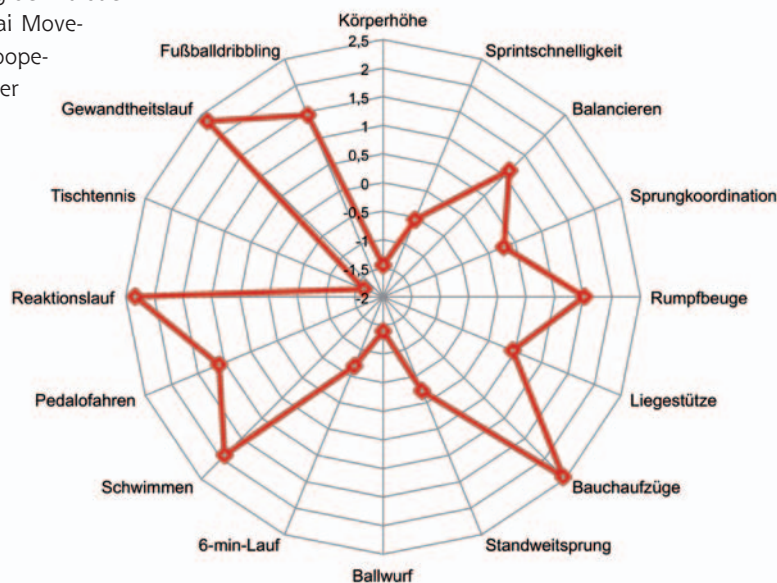


Abb. 2: Das Spinnennetzdiagramm, das aufgrund von Testergebnissen automatisch erzeugt wird, zeigt die unterschiedlich ausgeprägten Begabungen für verschiedene Sportarten (Grafik: Micha Pietzonka).

## AUTOREN



Prof. Dr. Andreas Hohmann ist Inhaber des Lehrstuhls für Trainings- und Bewegungswissenschaft an der Universität Bayreuth.



Micha Pietzonka M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Trainings- und Bewegungswissenschaft.



Dr. Volker Audorff ist Akademischer Rat am Lehrstuhl für Trainings- und Bewegungswissenschaft.

Abb. 3 (rechts): Testaufbau zur objektiven Erfassung von Schussgeschwindigkeit und Schusspräzision im Fußball (Grafik: Micha Pietzonka).

sönliche Sportartempfehlungen, die aus einem Abgleich des jeweiligen Talentprofils mit den typischen Wettkampfanforderungen von insgesamt 25 Sportarten hervorgehen.

### „FÜR DIE OPTIMIERUNG DES TRAININGS WERDEN ZUNEHMEND AUCH INFORMATISCHE MODELLE UND COMPUTER-SIMULATIONEN GENUTZT.“

Eine empirisch-statistische Überprüfung dieses Verfahrens zur Talentidentifikation hat gezeigt: Eine valide Talentdiagnose kann sowohl auf der Basis herkömmlicher, mathematisch-linearer Klassifikationsverfahren als auch mit Hilfe nichtlinearer Mustererkennungsverfahren erreicht werden.<sup>2</sup> So konnten beispielsweise von insgesamt 56 männlichen Nachwuchssportlern aus 6 verschiedenen Sportarten – Ski-Alpin, Leichtathletik-Sprint, Skilanglauf, Fußball, Volleyball und Wasserball – rund 90 Prozent korrekt ihrer jeweiligen Herkunftssportart zugeordnet werden; und zwar allein aufgrund ihrer jeweiligen Talentmerkmale.

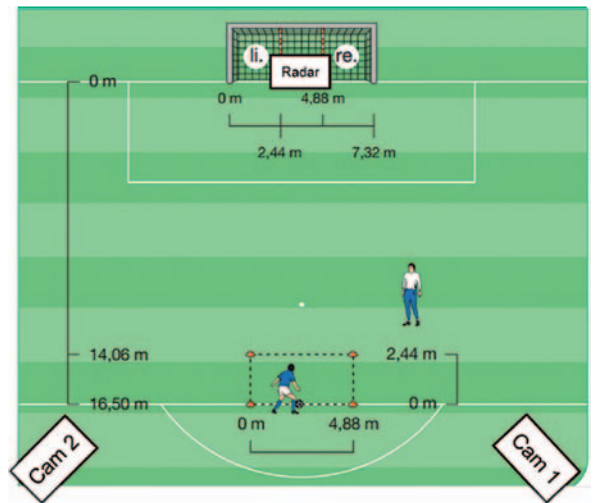
#### OBJEKTIVE ERFASSUNG DES LEISTUNGSSTANDS

Um eine stetige Verbesserung des leistungssportlichen Spitzenniveaus zu sichern, ist es erforderlich, dass sich auch die Trainingswissenschaft auf einem hohen Niveau bewegt und zeitrelevante Entwicklungen, wie die Digitalisierung, berücksichtigt. Aktuelle Leistungsstände und Leistungsentwicklungen von Spitzensportlerinnen und -sportlern lassen sich heute objektiv besser erfassen, indem die Güte technischer Ausführungen gemessen und damit quantifiziert wird. Im Rahmen eines Bayreuther Forschungsprojekts wurde am Lehrstuhl für Trainings- und Bewegungslehre die Fertigkeit des Torschusses objektiviert – und zwar anhand der Parameter *Schussgeschwindigkeit* und *Schusspräzision*.

Die *Geschwindigkeit* des Schusses wurde einerseits mithilfe der Messinstrumente Videographie, Radar „Stalker ATS“ und Adidas miCoach Ball (mit iPhone iOS 7) bestimmt, andererseits von einem Experten eingeschätzt. Kriterium für die *Präzision* des Schusses war der auf Videoaufnahmen festgehaltene

Abstand des Balls zur Torecke. Bei den Aufnahmen kamen zwei digitale HD-Videokameras von Sony sowie die Bewegungssoftware „Contemplas Templo“ und die Software „Vicon Motus Capture Engine“ zum Einsatz (Abb. 3).

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass das gewählte Vorgehen und die Auswertungsmethode tatsächlich geeignet sind, die Leistungsstände von Spielern objektiv zu erfassen. Somit können nicht nur Spieler unterschiedlichen Niveaus voneinander getrennt werden, auch ihre Leistungsentwicklungen können objektiv verglichen werden. Daraus wiederum lassen sich Rückschlüsse für die Methodik des Trainings ziehen.



#### OPTIMALE TRAININGSSTEUERUNG

In früheren Zeiten standen die Vorbereitungen der Sportler auf Olympische Spiele und andere Spitzensportwettkämpfe auf einer wissenschaftlich kaum fundierten Basis. Sie waren oftmals vom subjektiven Erfahrungsschatz einzelner Trainerpersönlichkeiten geprägt. Heute jedoch werden, unter dem Einfluss neuartiger technischer Möglichkeiten, weit höhere Ansprüche gestellt. Weil die Quantität des Trainings im Spitzensport immer weiter steigt und man die Sportlerinnen und Sportler vor einer Überbelastung schützen will, werden zunehmend auch informatische Modelle und Computersimulationen für die Optimierung des Trainings genutzt. Ein Beispiel ist das Performance Potential Modell (PerPot), das sich in der Trainingswissenschaft zunehmend bewährt hat.<sup>3</sup> Es bietet die Möglichkeit, verlässliche Anhaltspunkte für die Planung und systematische Beeinflussung des Trainingsprozesses zu gewinnen (Abb. 4).



## DIGITALISIERUNG IM OUTDOORSPORT

Aus eigener Kraft einen Berg erklimmen, oben auf dem Gipfel stehen und den Blick über die Landschaft schweifen lassen – Outdoorsport geht für die meisten Menschen über das rein sportliche Erlebnis hinaus. Für sie ist es eher ein Lebensgefühl. Der Wunsch, die Schönheit der Natur zu erleben, ist für viele Sporttreibende die wichtigste Motivation, sich in Wäldern und Wiesen, auf Gewässern und im Gebirge zu bewegen. Aufgrund der Digitalisierung des Alltags verändert sich in den letzten Jahren nun auch der Outdoorsport immer mehr. Ob es das Foto-Handy zur Dokumentation der Aktivität per Selfie ist, die Fitness-App zur Überwachung gesundheitlicher Parameter oder das GPS-Gerät zur Navigation im Gelände – digitale Hilfsmittel sind heute beim Outdoorsport ganz selbstverständlich, auch wenn deren Nutzung eigentlich im Widerspruch zur Suche nach Ursprünglichkeit in der Natur steht.

Die positiven gesundheitlichen Effekte des Outdoorsports für Herz, Kreislauf, Atemwege und Psyche stehen außer Frage. Multifunktionale Trainingscomputer („Pulsuhren“), Fitness-Tracker und Smartphone-Apps mit vergleichbaren Features erleichtern es, sinnvolle Belastungsintensitäten auch bei wechselnden Gelände- und Umweltbedingungen einzuhalten. Sie tragen auf diese Weise dazu bei, die Gesundheit gezielt zu fördern oder Trainingsfortschritte zu erzielen.

Auch wenn in Bezug auf die Verletzungshäufigkeit Ball- und Kontaktsportarten wie Fußball oder Handball deutlich vor Outdoorsportarten rangieren, passieren auch beim Sport in der Natur kleine-

re oder größere Unfälle. Digitale Hilfsmittel können heute das Management von Risiken erheblich vereinfachen – wie die GPS-Navigation mit digitalen Landkarten oder Apps zur Unterstützung bei der Gefahrenabschätzung, zum Beispiel in Bezug auf Lawinen. Doch andererseits verleitet die digitale Unterstützung beim Absetzen eines Notrufs oder bei der Ortung Hilfebedürftiger etliche Sportlerinnen und Sportler zu einer erhöhten Risikobereitschaft. Informationen, die jederzeit und auch mobil aus dem Internet abrufbar sind, werden nicht selten unkritisch genutzt. Die selbständige Abwägung von Risiken wird vernachlässigt.

## SPORTÖKOLOGIE

Wer Outdoor-Sport betreibt, ist meist auch sehr aufgeschlossen für technische Neuerungen. Die neueste Generation von Mountainbikes mit Elektromotoren und langen Federwegen erlaubt es ihnen, längere Touren zu machen und sich auch in schwieriges Gelände zu wagen. So rückt die Verträglichkeit von Outdoorsport und Naturschutz immer mehr ins öffentliche Blickfeld – so sehr, dass daraus ein eigenes sportwissenschaftliches Forschungsfeld entstanden ist, die Sportökologie. Weil sich immer mehr Menschen für den Outdoorsport begeistern und sich deren Aktivitäten immer weiter ausdifferenzieren, wird es notwendig, sich mit den Auswirkungen wissenschaftlich auseinanderzusetzen. Auch hier sind die genannten digitalen Instrumente hilfreich, die es endlich ermöglichen, das Sportverhalten in Natur und Landschaft exakter zu erfassen und so zu verstehen – schließlich wissen wir darüber zurzeit noch deutlich weniger als über andere ökologische Zusammenhänge.



Abb. 5: Moderne Trainingscomputer ermöglichen jedermann die Erfassung zeitlicher, räumlicher und physiologischer Daten in hoher Qualität (Foto: Amer Sports Deutschland GmbH).

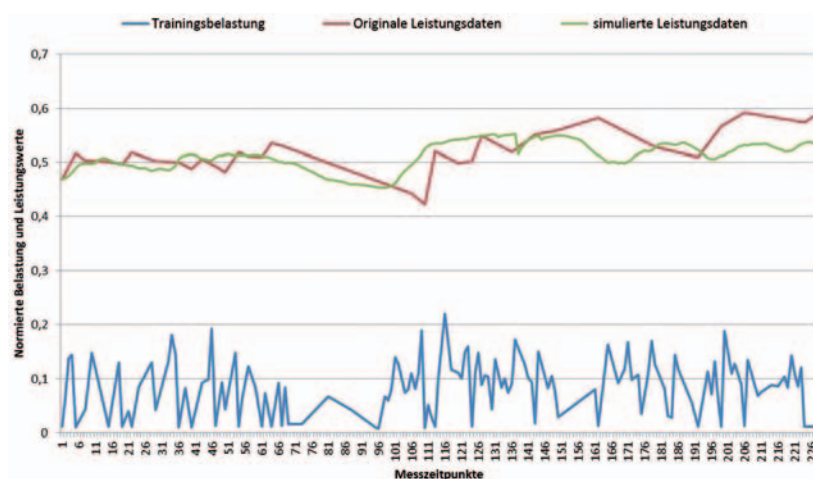


Abb. 4: Simulation einer Leistungsverlaufskurve eines Radsportlers mit Hilfe des Performance Potential Modells (PerPot). Die untere Reihe zeigt die im Zeitverlauf unterschiedlich starke körperliche Belastung. Die grüne Kurve oben bildet die daraus per Computersimulation errechnete Leistungsfähigkeit ab. Sie kommt den Schwankungen der tatsächlich gemessenen Kondition, die von der roten Kurve angezeigt werden, sehr nahe. Simulationen können so dazu beitragen, diejenige Belastung herauszufinden, die im Hinblick auf eine angestrebte Leistungsfähigkeit optimal ist (Grafik: Micha Pietzonka).

- 1 Vgl. dazu [www.sport.uni-bayreuth.de/spo\\_wiss\\_1/de/projects/Bewegungscheck\\_Fulda/](http://www.sport.uni-bayreuth.de/spo_wiss_1/de/projects/Bewegungscheck_Fulda/), aufgerufen am 19.11.2015
- 2 Andreas Hohmann et al.: Heute im Talentpool – In Hamburg auf dem Podium, in: Leistungssport 5/2015, S. 5 - 11.
- 3 Vgl. Jürgen Perl et al.: On the long term behaviour of the Performance-Potential-Metamodel PerPot, in: International Journal of Computer Science in Sport (2003), Special Edition, S. 12-21.



■ KLAUS NAGELS  
DOMINIK BINDL  
REINER HOFMANN

# Telemedizin – Neue Wege in der Gesundheitsversorgung

eHEALTH ALS ZUKUNFTSTHEMA AN DER UNIVERSITÄT BAYREUTH

■ Philips Motiva® ist eine interaktive telemedizinische Gesundheitsplattform. Sie versetzt Patienten mit chronischen Erkrankungen in die Lage, eine aktive Rolle im Umgang mit ihrer Krankheit zu übernehmen, und unterstützt ihre Fähigkeit zum Selbstmanagement. Die Plattform kommt auch in dem von Bayreuth aus koordinierten Projekt CardioBEAT zum Einsatz (Foto: © Philips Healthcare).



**e**Health ist ein weit gefasster Begriff, der sich im Gesundheitswesen und darüber hinaus sehr unterschiedlicher Verwendung erfreut. Das Bundesministerium für Gesundheit versteht darunter verschiedenste Arten und Ausprägungen moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK), die zur *Behandlung* und *Betreuung* von Patienten eingesetzt werden.<sup>1</sup> Die Europäische Kommission weitet den Begriff aus und bezieht auch die *Prävention* und *Diagnose* sowie *administrative Tätigkeiten* mit ein.<sup>2</sup> Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) fasst deren Definition noch globaler und sieht in eHealth eine *Möglichkeit zur elektronischen Übermittlung von Gesundheitsdaten*, um die medizinische Versorgung zu optimieren.<sup>3</sup> Generell stehen, wenn heute über eHealth gesprochen wird, vor allem drei Bereiche im Fokus:

- der telekommunikationsbasierte Austausch von Informationen, insbesondere via Internet
- die Möglichkeiten von Informationstechniken und eCommerce zur privaten und öffentlichen Gesundheitsförderung
- die Nutzung von eCommerce und eBusiness-Anwendungen im Managementsektor

Dabei werden neue digitale Techniken nicht allein in der medizinischen Versorgung selbst, sondern auch in Bereichen angewendet, welche die Versorgung in wirtschaftlicher oder organisatorischer Hinsicht unterstützen. Prominente Beispiele hierfür sind Krankenversicherungskarten, elektronische Patientenakten oder das große Feld der Telemedizin. Auch die Bundesregierung hat das Potenzial elektronischer Anwendungen im Gesundheitswesen mittlerweile erkannt, unterstützt dies durch verschiedenste Fördermaßnahmen und strebt mit dem aktuell diskutierten eHealth-Gesetz nun auch einen gesetzlichen Rahmen an.

## EHEALTH – STATUS QUO

Weshalb ist die Einführung von eHealth in Deutschland bisher so schleppend verlaufen? Ein Hauptgrund liegt in der Struktur des deutschen Gesundheitswesens. Es ist geprägt von unterschiedlichen Anreizprofilen der Beteiligten, wodurch gemein-

same Projekte auf nationaler Ebene vergleichsweise selten zustande kommen. Die Durchdringung der Gesundheitsbranche mit eHealth ist zudem ein langfristiges Projekt und findet in den meist kurzfristig ausgerichteten Planungshorizonten von Politik und Krankenkassen oft nur unzureichend Beachtung. Lediglich in einigen Teilbereichen des Gesundheitswesens haben sich Anwendungen wie die Telemedizin zu einem Standard entwickelt. Vorreiter sind die Tele-Pathologie, die Tele-Konsultation sowie der Einsatz in militärischen Bereichen oder dem Katastrophenschutz.



In anderen Ländern haben sich dagegen schon frühzeitig Einrichtungen etabliert, die mehr oder weniger komplexe telemedizinische Dienstleistungen anbieten und umsetzen. Vor allem dort, wo die Versorgungslandschaft durch große räumliche Entfernungen zwischen Patienten und Ärzten geprägt ist, steht man den Möglichkeiten von eHealth aufgeschlossener gegenüber. In Skandinavien beispielsweise ist die ‚Telemedizin-Landschaft‘ überdurchschnittlich hoch entwickelt. Dies liegt nicht allein an den geographischen Rahmenbedingungen, sondern auch an der zentralisierten und staatsfinanzierten Struktur der dortigen Gesundheitswesen sowie der intensiven Internetnutzung in der Bevölkerung. So haben in Schweden mehr als 75 Prozent der Krankenhäuser telemedizinische Strukturen aufgebaut.

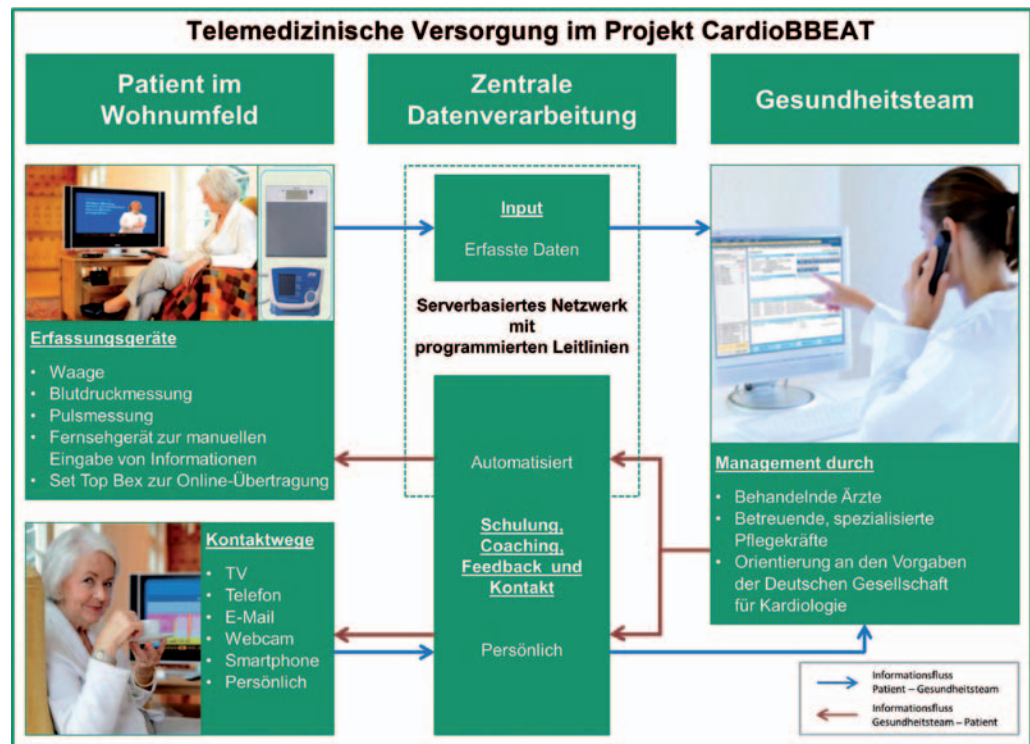
Im deutschen Gesundheitswesen aber wurde – aufgrund der fehlenden Anreizsysteme und eines bisher nicht hinreichend geklärten rechtlichen Rahmens – über lange Zeit meist nach dem Einzelfallprinzip entschieden, ob man sich mit modernen IT-Anwendungen ausstattet oder nicht. Dadurch entstand eine Ansammlung von unüberschaubaren Produkt- und Prozesslösungen. Mittlerweile hat man die Vorteile von Informations- und Kommunikationstechnologien im Gesundheitswesen aber erkannt und arbeitet verstärkt an flächendeckenden Anwendungen, welche die nach wie vor unterschiedlichen Einzelsysteme verknüpfen. Grundsätzliches Ziel muss es hierbei sein, die Qualität, Wirtschaftlichkeit und Transparenz der Versorgung zu verbessern. Verwaltungsabläufe sollen vereinfacht und eine hohe Verfügbarkeit medizinischer Informationen ermöglicht werden. Dabei sind der Datenschutz und die Datensicherheit im Gesundheitswesen eine nicht zu unterschätzende Aufgabe.

## AUTOREN



Das Autorenteam des IMG an der Universität Bayreuth: Prof. Dr. Dr. Klaus Nagels, Dominik Bindl, M.Sc., und Reiner Hofmann, M.Sc. (v.o.n.u.)

Grafik: Institut für Medizinmanagement und Gesundheitsökonomie (IMG), Universität Bayreuth.



## EHEALTH-BASIERTE FORSCHUNG AN DER UNIVERSITÄT BAYREUTH

Um diese Entwicklungen voranzutreiben, koordiniert das Institut für Medizinmanagement und Gesundheitswissenschaften (IMG) der Universität Bayreuth derzeit die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Telemedizin-Studie CardioBBEAT. Gegenstand dieser Studie ist die Volkskrankheit Herzinsuffizienz, genauer: die telemedizinische Unterstützung von Ärzten und Patienten in der alltäglichen Versorgung dieser Erkrankung. Wie sind in diesem Bereich einerseits die klinische Wirksamkeit und andererseits der gesundheitsökonomische Nutzen von ‚eHealth‘ zu beurteilen? Diesen Fragen will ein breit angelegtes Netzwerk auf den Grund gehen:

- Universitätskliniken und weitere namhafte Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft untersuchen gezielt diejenigen Aspekte telemedizinischer Maßnahmen, die sich auf den Gesundheitszustand der Patienten sowie auf ihre ärztliche und klinische Versorgung beziehen.
- Ökonomische Aspekte werden gemeinsam mit den 55 Krankenkassen analysiert, bei denen die 621 Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Studie versichert sind. In jedem Einzelfall gilt es zu ermitteln, wie hoch die

Kosten für diagnostische und therapeutische Maßnahmen tatsächlich waren.

Der besondere Vorteil von CardioBBEAT liegt darin, dass die Studie aus zwei ‚Armen‘ besteht: Sie arbeitet simultan mit zwei unterschiedlichen Versorgungskonzepten, um genauere Erkenntnisse über den tatsächlichen Wert der telemedizinischen Versorgung zu gewinnen.

Alle Patienten, die an der Studie teilnehmen, leiden an chronischer Herzinsuffizienz. Sie erhalten ambulant eine Behandlung, wie sie den Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie entspricht. *Einige*, die zufällig ausgewählt wurden, werden *zusätzlich* telemedizinisch versorgt. Es handelt sich hierbei um eine Home Telemonitoring-Anwendung, die auf einem individuellen Versorgungsplan beruht und ein ganzes Paket von Maßnahmen umfasst. Zunächst gewährleistet sie einen täglichen Kontakt zwischen den Patienten zu Hause und ihren behandelnden Ärzten. Über ihr Fernsehgerät und eine gesicherte Internetverbindung haben die Patienten die Gelegenheit, sich über ihr subjektives Befinden zu äußern oder objektive medizinische Daten zu erzeugen und anzusehen. Ebenso erhalten sie von den betreuenden Ärzten über das Internet ein auf ihre persönliche Situation bezogenes Feedback. Sie können me-

1 [www.bmg.bund.de/glossar\\_begriffe/e/e-health.html](http://www.bmg.bund.de/glossar_begriffe/e/e-health.html), aufgerufen am 19.11.2015.  
 2 [ec.europa.eu/health/ehealth/policy/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/health/ehealth/policy/index_de.htm), aufgerufen am 19.11.2015.  
 3 [www.who.int/trade/glossary/story021/en](http://www.who.int/trade/glossary/story021/en), aufgerufen am 19.11.2015.  
 4 Detaillierte Informationen zu den Grundlagen der Studie sind bereits veröffentlicht, vgl. Reiner Hofmann et al.: First outline and baseline data of a randomized controlled multicenter trial to evaluate the health economic impact of home telemonitoring in chronic heart failure - CardioBBEAT, in: *Trials*, 16:343(2015), S. 1-12. Die Publikation der Ergebnisse wird für 2016 erwartet.



dizinische Fachinformationen beziehen oder sich beispielsweise an Behandlungstermine erinnern lassen. Telefonkontakte ergänzen diese Internet-gestützten Dienstleistungen – sei es, dass sie von den Patienten oder vom zuständigen Klinikpersonal veranlasst werden.

Diejenigen Patienten, die an diesem telemedizinischen Programm teilnehmen, messen täglich die Parameter Gewicht, Blutdruck und Puls. Das Telemonitoring-System Motiva® schickt diese und über Fragebögen erhobene Daten kabellos an die jeweils zuständigen Kliniken, wo sie gleich ausgewertet werden. So werden der aktuelle Gesundheitszustand der Patienten kontinuierlich überwacht und Risikosituationen frühzeitig erkannt. Geben die Daten Anlass zur Sorge, löst das System sofort zielgerichtete Rückmeldungen für die Patienten und das medizinische Personal aus, wobei diese Informationen auf die jeweiligen Adressaten individuell zugeschnitten sind.

Im Vergleich mit der konventionellen, an den europäischen Leitlinien orientierten Behandlung, verspricht die zusätzliche telemedizinische Versorgung einen klaren zusätzlichen Nutzen: gleich gute oder verbesserte Gesundheit bei längerer Zeit, die nicht in einer Klinik oder in einem Pflegeheim verbracht wird. Wegen ihrer dualen Ausgestaltung macht es die Studie möglich, den wirtschaftlichen Aufwand für die telemedizinische Zusatzversorgung einerseits und die Bewertungen ihrer medizinischen Effektivität andererseits zueinander ins Verhältnis zu setzen. Insbesondere auf nationaler Ebene gibt es in Deutschland derzeit noch große Defizite, was die gesundheitsökonomische Evaluation telemedizinischer Maßnahmen betrifft. Das Projekt CardioBBEAT wird hier größere Klarheit schaffen können.<sup>4</sup>

## AUSBLICK

Die Studie wird dazu beitragen, Therapiekonzepte unter medizinischen wie ökonomischen Gesichtspunkten zu optimieren und in Folge zu vermeiden, dass knappe Ressourcen falsch eingesetzt werden. Auf Grundlage detaillierter Analysen werden diejenigen Patientengruppen identifiziert, die in besonderer Weise von einer telemedizinischen Betreuung profitieren. Dabei wird sich auch der zeitliche Nutzen- und Kostenverlauf besser abschätzen lassen. Zudem ist es Ziel der Studie, Handlungsempfehlungen hinsichtlich der bisher ungelösten Frage zu geben, inwieweit die Kosten telemedizinischer Maßnahmen

## „CARDIOBBEAT IST DAS ERSTE BREIT ANGELEGTE PROJEKT, DAS DIE CHANCEN DER TELEMEDIZIN IM DEUTSCHEN GESUNDHEITSWESEN MIT EINER MEDIZINISCH UND ÖKONOMISCH SYSTEMATISCHEN AUSRICHTUNG UNTERSUCHT.“

im Rahmen des gesetzlichen Leistungskatalogs der Krankenkassen erstattet werden sollten.

CardioBBEAT ist das erste breit angelegte Projekt, das die Chancen der Telemedizin im deutschen Gesundheitswesen mit einer medizinisch und ökonomisch systematischen Ausrichtung untersucht. Über die Behandlung von Herzinsuffizienz hinaus kann es wertvolle Informationen darüber liefern, wie die Qualität der Versorgung auch in anderen medizinischen Bereichen durch eHealth gefördert werden kann. Letztlich zielt das Vorhaben darauf ab, telemedizinische Anwendungen in Deutschland in den medizinischen Versorgungsalltag zu integrieren. Das Studienteam will die dafür erforderlichen Entscheidungen von Politik und Krankenkassen mit einer soliden Datenbasis unterstützen. So kann es einen wichtigen Beitrag leisten, um das Gesundheitssystem in Deutschland effektiver und effizienter zu gestalten.

CardioB  
BEAT

Economic Analysis of TeleHealth

Tabelle: Die zentralen Partner im Projekt CardioBBEAT.

Wissenschaftliche Studienleitung	
Gesundheitsökonomische Analyse und Methodenentwicklung Projektmanagement, Koordination, Öffentlichkeitsarbeit und Berichtswesen Universität Bayreuth – Institut für Medizinmanagement und Gesundheitsökonomie (IMG)	
<b>Klinische Prüfzentren</b> Rekrutierung der Patienten Untersuchungen und Datenerhebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Deutsches Herzzentrum Berlin</li> <li>■ Vivantes</li> <li>■ Klinik am See – Rehabilitationszentrum für Innere Medizin</li> <li>■ Universitäres Herzzentrum Hamburg (UKE)</li> <li>■ Jüdisches Krankenhaus Berlin</li> <li>■ Elisabeth-Krankenhaus Essen</li> <li>■ Universitätsklinikum Essen</li> <li>■ Kliniken Essen Süd</li> <li>■ Deutsches Zentrum für Herzinsuffizienz Würzburg</li> <li>■ Städtisches Klinikum München</li> </ul>
<b>Wissenschaftliche Institutionen</b> Randomisierung, Monitoring Statistische Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf</li> <li>■ Clinical Trial Center North</li> </ul>
<b>Industriepartner</b> Technologie, Infrastruktur Installation, Schulung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ T-Systems</li> <li>■ Philipps</li> </ul>
<b>Krankenkassen</b> Entwicklung der Kostendatensätze Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Techniker Krankenkasse (TK)</li> <li>■ DAK-Gesundheit</li> <li>■ weitere 53 Krankenkassen</li> </ul>
<b>Förderung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</li> </ul>

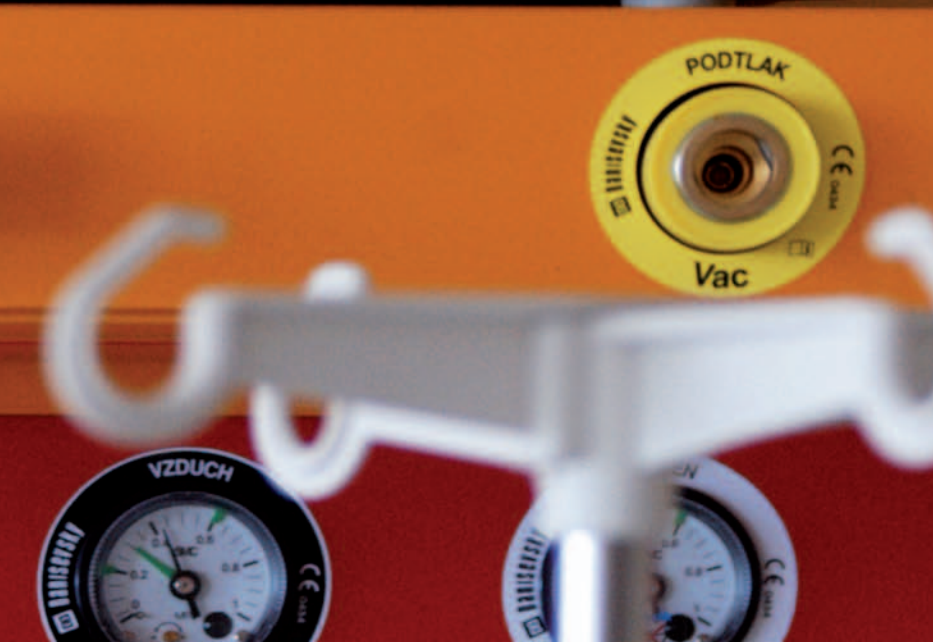
## INNOVATION UND VERBRAUCHERSCHUTZ



CHRISTOPH BUCK  
TIM KESSLER  
NILS URBACH

# Die Vermessung des Selbst

CHANCEN UND RISIKEN DES  
DIGITALEN SELF-TRACKINGS



Diagnostikgerät, das Puls und Blutdruck anzeigt sowie weitere gesundheitlich relevante Informationen liefert (Foto: sst).



Die digitale Selbstvermessung im Alltag ist in aller Munde! Smartphones, Smartwatches, Wearables und Tracking-Geräte verhelfen einem schon länger währenden Trend zu einem neuen und nachhaltigen Aufschwung. Der Begriff „Self-Tracking“ – auch „Self-Monitoring“ oder „Lifelogging“ – beschreibt den Prozess der Beobachtung, Aufzeichnung und Auswertung eigener Aktivitäten und Körperdaten. Die Idee, personenbezogene Daten zu messen, auszuwerten und zu nutzen, um Zustände und Situationen zu verbessern, ist in der Medizin und im Profisport bereits gängige Praxis. Das Kontrollieren der eigenen Körperwerte gehört bei Menschen mit chronischen Erkrankungen ebenso zum Alltag wie bei ambitionierten Athleten die Dokumentation der Trainingsleistungen und die darauf abgestimmte Ernährung. Was noch vor wenigen Jahren mit Stift und Papier erledigt wurde, kann heute einfach, schnell und effizient von digitalen Informationssystemen geleistet werden – zu jeder Zeit und an jedem Ort.

Die zunehmende Durchdringung des Alltags mit digitalen Informationssystemen hat das Anwendungsfeld von Self-Tracking mittlerweile stark erweitert und zur wachsenden Popularität der *Quantified-Self-Bewegung* beigetragen.<sup>1</sup> Die Menschen messen und speichern mit Self-Tracking-Geräten individuelle Daten, um ihr eigenes Leben zu bereichern. Sie erleben eine bisher unbekannt Dimension von Selbstkontrolle und Selbstbestätigung. ABI Research prognostizierte im Jahr 2013, dass die Anzahl der Auslieferungen von Self-Tracking-Geräten bis 2018 auf über 485 Mio. jährlich steigen werde.<sup>2</sup>

## TECHNISCHE LÖSUNGEN UND ANWENDUNGSBEREICHE

Sport, Fitness und Gesundheit sind heute die hauptsächlichen Anwendungsbereiche des digitalen Self-Trackings. Hierbei werden Daten vor allem mit Hilfe von Smartphones, Tablets oder sogenannten Wearables erfasst. Wearables sind tragbare Geräte und Sensoren, die verschiedenste Daten aus ihrer Umwelt erfassen und visualisieren können. Sie werden meist am Körper getragen und sind über Software-Lösungen mit dem

Internet verbunden. In der Regel sind Wearables als Armbänder, Datenbrillen, Smart Watches oder Kleidungsstücke ausgestaltet. Das Magazin *Business Insider* prognostizierte 2015 für den Wearable-Markt eine jährliche Wachstumssteigerung von 35 Prozent in den nächsten fünf Jahren, wobei die Zahl der ausgelieferten Geräte von heute 33 Mio. auf 148 Mio. im Jahr 2019 ansteigen werde.<sup>3</sup>

Auf dem Markt für Wearables sind sowohl spezialisierte Anbieter wie Fitbit, Jawbone oder Garmin als auch große Konzerne wie Samsung, Apple, LG oder Sony mit ihren Spartenprodukten präsent. Die Produktkategorien sind vielfältig:

- Fitness- und Health Tracker, die häufig als Lifestyle-Artikel vermarktet werden, erfassen Körperdaten für sportliche oder gesundheitliche Zwecke – so auch beispielsweise das Fuel-Band des Sportartikelherstellers Nike.
- Andere innovative Produkte dienen speziellen medizinischen Zwecken, unter anderem der Behandlung von Bluthochdruck, der Überwachung des Pulsschlags und einer im Notfall schnelleren Versorgung. Das Studio Google X entwickelt derzeit in Kooperation mit Novartis eine intelligente Kontaktlinse für Diabetespatienten. Diese kann die Glukosewerte in der Tränenflüssigkeit messen und den Träger sofort in Kenntnis setzen, falls gemessene Werte von der Norm abweichen. Damit wird erstmals eine permanente Kontrolle der Blutzuckerwerte ohne den invasiven Eingriff der Blutentnahme möglich.
- Smart Watches, wie beispielsweise die Apple Watch, sind Armbanduhren mit integriertem Computer, Betriebssystem, Display und Sensoren. Sie sind nicht allein für Fitness-Zwecke geeignet, sondern können beispielsweise ebenso Abläufe in einem Produktionsbetrieb registrieren und Aufschluss über die benötigten Wege der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter geben. Die Auswertung der Daten würde Prozessoptimierungen vereinfachen.



Abb. 2: Synchronisierung von Gesundheitsdaten zwischen Smartphone und Smartwatch (Foto: sst).

Abb. 1 (links): Blutzuckermessgerät iBGStar® des Herstellers Sanofi, das an ein Smartphone angedockt wird (Foto: © Sanofi Gruppe).

Abb. 3: Die Nachfrage nach Wearables steigt ständig. Hier: Smartwatches mit Apps (Foto: sst).



AUTOREN



Christoph Buck ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik (Prof. Dr. Torsten Eymann) an der Universität Bayreuth.



Prof. Dr. Tim Kessler ist Juniorprofessor für Internationales Technologiemanagement, insbesondere industrielle Dienstleistungen, an der Universität Bayreuth.



Prof. Dr. Nils Urbach ist Professor für Wirtschaftsinformatik und Strategisches IT-Management an der Universität Bayreuth sowie stellvertretender wissenschaftlicher Leiter der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT.

IMPLIKATIONEN FÜR DAS INDIVIDUUM  
UND DIE GESELLSCHAFT

Die skizzierten Anwendungsbeispiele zeigen sehr anschaulich die Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von Self-Tracking für den Einzelnen, aber auch für Unternehmen sowie die Gesellschaft ergeben. Für den individuellen Nutzer steht offensichtlich die Erfüllung des Bedürfnisses nach Selbstoptimierung im Vordergrund. Der Aufwand hierfür ist sehr gering, und die Möglichkeiten zur Auswertung und Weiterverarbeitung eigener Körperdaten sind komfortabel.

Self-Tracking erzeugt aber nicht nur Vorteile für den Einzelnen, sondern auch für Unternehmen. Die Sammlung von personenbezogenen Körperdaten lässt einen Markt entstehen, an dem viele Unternehmen großes Interesse haben dürften. So können beispielsweise Krankenkassen dem Traum vom „gläsernen Patienten“ ein ganzes Stück näher kommen und Self-Tracking-Nutzern auf der Basis ihres Gesundheitsprofils maßgeschneiderte Versicherungen anbieten. Erste Versicherungen versuchen ihre Kunden bereits mit Rabatten und Zuschüssen zum Self-Tracking zu bewegen. Auch für pharmazeutische Unternehmen dürfte der kontinuierlich wachsende Bestand an Gesundheitsdaten wertvoll sein, lassen sich daraus doch weitreichende Analysen über die Wirksamkeit von Medikamenten oder Therapien generieren. Des Weiteren könnten intelligent ausgewertete Daten eine Basis für die individualisierte Werbeansprache von Endkunden sein – eine wichtige Voraussetzung für Direktgeschäfte wäre damit geschaffen.

Die digitale Selbstvermessung dürfte auch positive Implikationen für die Gesellschaft mit sich bringen. So könnte beispielsweise das kontinuierliche Monitoring von chronisch Kranken dazu beitragen, verbreitete Zivilisationskrankheiten wie Bluthochdruck, Asthma, Diabetes oder Übergewicht zurückzudrängen. Weil sich Stressfaktoren genauer identifizieren lassen, könnte Self-Tracking helfen, Stress als gesellschaftliches Phänomen zu bekämpfen. Darüber hinaus sind – zum Beispiel im Hinblick auf Tabak- oder Alkoholkonsum – eine bessere Suchtkontrolle und gezielte Gegenmaßnahmen möglich.

Der Trend zum Self-Tracking wirft aber auch einige Fragen auf, die beantwortet werden sollten, bevor es zu einem echten Massenphänomen wird. Wem gehören die Daten, die durch digitales Self-

Tracking erhoben werden – dem Nutzer oder dem Plattform-Betreiber? Wer darf Zugriff auf die gewonnenen Daten haben? Ist es beispielsweise legitim, wenn eine Krankenversicherung ihren Versicherten einen vergünstigten Tarif anbietet, falls diese einwilligen, ihre per Self-Tracking erhobenen Gesundheitsdaten von der Versicherung überwachen zu lassen? Hierbei ist zu beachten, dass die möglichen Prognosen bezüglich der gesundheitlichen Entwicklung von den Versicherungen auch genutzt werden könnten, um Risikozuschläge zu berechnen. Eine Besserstellung von Self-Tracking-Nutzern stellt im Grunde bereits heute eine indirekte Diskriminierung der Nicht-Nutzer dar.

Es gilt also vor allem zu klären, was mit den gesammelten Daten tatsächlich geschieht und wer darauf Zugriff hat. Schließlich handelt es sich gerade bei körperbezogenen Daten um sehr sensible und persönliche Informationen, die gut gesichert und nicht für jedermann einsehbar sein sollten. Ein Beispiel sind Bewegungsprofile, die sich auch gegen die Nutzer verwenden lassen. Wenn klar ist, wo sich ein Self-Tracking-Nutzer jeden Tag zu einer bestimmten Zeit aufhält, ist auch klar, wo er sich zu dieser Zeit nicht befindet – für Einbrecher ist das eine interessante Information. Nicht jede der im Kontext von Self-Tracking angebotenen Apps ist diesbezüglich als vertrauenswürdig einzustufen. Datenschutzerklärungen sollten deshalb besondere Beachtung finden. Wer solche Angebote nutzt, sollte allein darüber entscheiden können, was mit den eigenen Daten passiert. Vor allem sollte er sich genau überlegen, ob und wem er sie weiterleitet. Nicht zuletzt könnte das Self-Tracking zu einem



Abb. 4: London, im April 2015: Großer Andrang bei den brandneuen Apple Watches. Die Apple Watch ist mit Sensoren zur Messung der Herzfrequenz ausgestattet und enthält einen Lage- und Beschleunigungssensor, der körperliche Bewegungen registriert (Foto: William Perugini / Shutterstock.com).



gesundheitlichen Problem für den Nutzer werden – und zwar deshalb, weil körperliche Eigenschaften und Funktionen auf Zahlen reduziert werden. Daraus könnte eine mentale Abhängigkeit von gemessenen Werten resultieren, bei der die Fähigkeit verloren geht, auf den eigenen Körper zu hören und seine Signale wahrzunehmen.

### SELF-TRACKING IM FOKUS DER BAYREUTHER FORSCHUNG

Der Trend zum digitalen Self-Tracking wird auch in Projekten der Bayreuther Wirtschaftsinformatik und des Technologiemanagements aufgegriffen, die damit am Profildfeld „Innovation und Verbraucherschutz“ der Universität mitwirken.<sup>4</sup> Die Forschungsarbeiten beziehen sich auf die drei Ebenen „Individuum“, „Unternehmen“ und „Gesellschaft“ und setzen diese zueinander in Beziehung. Untersuchungen zum individuellen Self-Tracking befassen sich vor allem mit der Nutzerakzeptanz und mit der kontinuierlichen Nutzung von digitalen Self-Tracking-Geräten. Im Kern geht es dabei um die Frage: Welche spezifischen Eigenschaften des Individuums einerseits und der technischen Informationssysteme andererseits führen zum Kauf, zur initialen Nutzung und zur kontinuierlichen Weiterentwicklung? Die Ergebnisse werden Aufschluss darüber geben, wie digitale Self-Tracking-Geräte von den Herstellern zu gestalten sind, damit aus deren Nutzung ein optimaler Nutzen für das Individuum entsteht.

Andere Studien beleuchten die verbreiteten Bedenken von Nutzern, was die Sicherheit ihrer persönlichen Daten in digitalen Systemen betrifft. Welche Vorbildung haben die Nutzer, welche Informationen legen sie ihrer Nutzungsentscheidung zugrunde? Und sind sie bereit, für Privatsphäresichere Anwendungen einen Aufpreis zu zahlen?

Digitale Innovationen, die im weiteren Umfeld von Self-Tracking-Services angesiedelt sind, und datenbasierte Geschäftsmodell-Innovationen sind weitere Schwerpunkte der Forschung in Bayreuth. Nicht nur Versicherungen und Sportartikelhersteller, sondern auch Unternehmen wie Google sind mittlerweile stark an individuellen Daten interessiert, die von den Nutzern selbst generiert werden. Dementsprechend gestalten sie ihre Geschäftsmodelle auf Basis von kombinierten Produkt-Service-Angeboten. Welche Chancen und Risiken sind damit verbunden?



### SELF-TRACKING – FLUCH UND SEGEN

Self-Tracking stellt eine weitere Dimension der Verwertung personenbezogener Daten für digitale Inhalte und Services dar. Charakteristisch für die Services ist eine hohe Integration in den Alltag der Konsumenten. Sie wird ermöglicht durch Passgenauigkeit, hohe Usability und barrierefreien Bezug. Viele dieser Dienste haben zwar das Potenzial, einen hohen Mehrwert zu erzeugen, doch ihre digitale Verankerung kann zu weitreichenden Risiken führen. Wer sich dafür entscheidet, sie zu nutzen, sollte immer die Kontrolle über die eigenen Daten behalten und sich der Gefahren bewusst sein, die aus Verletzungen der Privatsphäre resultieren. Personalisierte Körper- oder Gesundheitsdaten sind hoch sensibel, und die mit Datenverlust und Missbrauch verbundenen Risiken sind immens. Sind sie erst einmal eingetreten, lassen sich die Folgen nur schwer kontrollieren.



Abb. 5: Los Angeles 2012: Nike präsentiert das neue FuelBand, einen ‚digitalen Fitnesstrainer‘ am Handgelenk (Foto: Doug Kline / CC-BY 2.0 / Wikimedia Commons).

Abb. 6 (kleines Bild): Das aktuelle Nike FuelBand (Foto: © Nike, Inc.).

- Der Journalist Gary Wolf, Mitbegründer der „Quantified-Self“-Bewegung in den USA, rief auf einer TED-Konferenz (TED = Technology, Entertainment, Design) die Menschen im Publikum dazu auf, von ihren eigenen Daten zu profitieren: „We use numbers when we want to tune up a car, analyze a chemical reaction, predict the outcome of an election. We use numbers to optimize an assembly line. Why not use numbers on ourselves?“. [www.ted.com/talks/gary\\_wolf\\_the\\_quantified\\_self](http://www.ted.com/talks/gary_wolf_the_quantified_self), aufgerufen am 19.11.2015.
- Vgl. Analyst Insider, A Weekly Technology Research Update from ABI research, 27 Feb 2013: Wearable Computing Devices, Like Apple's iWatch, Will Exceed 485 Million Annual Shipments by 2018. [www.abiresearch.com/press/wearable-computing-devices-like-apples-iwatch-will/](http://www.abiresearch.com/press/wearable-computing-devices-like-apples-iwatch-will/), aufgerufen am 19.11.2015.
- <http://uk.businessinsider.com/the-wearable-computing-market-report-bii-2015-7>, aufgerufen am 19.11.2015.
- Vgl. die folgenden neueren Forschungsarbeiten: Arne Buchwald, Albert Letner et al.: Towards Explaining the Use of Self-Tracking Devices: Conceptual Development of a Continuance and Discontinuance Model, in: Proceedings of the 36th International Conference on Information Systems (ICIS 2015), December, 13-16, Fort Worth 2015, Texas, USA. – Christoph Buck, Chris Horbel et al.: The Unconscious App Consumer: Discovering and Comparing the Information-Seeking Patterns among Mobile Application Consumers, in: Proceedings of the 22nd European Conference on Information Systems, Tel Aviv, 2014. – Christoph Buck, Chris Horbel et al.: Mobile Consumer Apps: Big Data Brother is Watching You, in: Marketing Review St. Gallen, 31 (1), 2014, S. 26 - 34.





■ HEINRICH AMADEUS WOLFF  
BASTIAN STEMMER

# Mehr Digitalisierung wagen?

VOM EINFLUSS DER DIGITALISIERUNG AUF DIE DEMOKRATIE

■ Im Inneren der Kuppel des Reichstagsgebäudes in Berlin, Sitz des Deutschen Bundestags (Foto: sst).



**D**er Demokratiebegriff des Grundgesetzes hat mehrere Ebenen. Demokratie bedeutet nach Artikel 20 Abs. 2 Satz 1 GG, dass alle Staatsgewalt vom Volke ausgeht. Nach diesem Text legitimiert sich die Staatsgewalt, indem sie ihren Ursprung im Volke findet. Quelle der Herrschaft über das Volk soll das Volk selbst sein. Dieser Zirkel soll durch seine Geschlossenheit Legitimation vermitteln. Die Aussage des Satzes 1 wird eingeschränkt und relativiert durch Satz 2, wonach die Hoheitsgewalt ausgeübt wird durch besondere Staatsorgane (repräsentative Demokratie) und durch das Volk selbst in Abstimmungen und Wahlen (unmittelbare Demokratieelemente). Aus dem Wechselspiel ergeben sich grundlegende Schlussfolgerungen:

- *Erstens* sind die unmittelbaren Herrschaftsakte des Volkes, nämlich Wahlen und Abstimmungen, ernst zu nehmen. Da das Grundgesetz kaum Abstimmungen kennt, dagegen aber Wahlen, haben Letztere besonders große Bedeutung. Der Wahlvorgang muss den Grundsätzen der Gleichheit, Freiheit, Allgemeinheit, Geheimheit und Unmittelbarkeit genügen.
- *Zweitens* darf die Verbindung zwischen Repräsentanten und Souverän nicht vollständig abreißen. Andernfalls würden sich das Parlament als Organ und die von ihm beschlossenen Regeln, die Parlamentsgesetze, immer weiter vom Volk entfernen.
- *Drittens* muss die Legitimation durch das Volk real sein und darf sich nicht in einer theoretischen Ableitung erschöpfen, von der das Volk am Ende nichts hat. Daher darf das Modell der repräsentativen Demokratie niemals so weit gehen, dass die Rückführung der Staatsgewalt auf das Volk fiktiv wird.

## „DIE DIGITALISIERUNG INTENSIVIERT DIE VERBINDUNG DES PARLAMENTS UND DER ABGEORDNETEN ZU DEN WÄHLERN UND ALLGEMEIN ZUR BEVÖLKERUNG DEUTLICH.“

Das Demokratieprinzip ist daher Ausgangspunkt für eine ganze Reihe weiterer Forderungen:

- Jede Ausübung von Staatsgewalt bedarf eines angemessenen demokratischen Legitimationsniveaus, d. h. sie muss personell und sachlich vom Parlament zumindest mittelbar mitgetragen werden.
- Politische Meinungen und Richtungen im Parlament und außerhalb des Parlamentes, die keine Mehrheit haben, müssen „am Leben gelassen werden“. Die Opposition muss eine reale Chance besitzen, in Zukunft Mehrheit zu werden. Minderheitenrechte sind zwar nicht zwingend erforderlich, entsprechen aber sehr dem demokratischen Gedanken.
- Wesentliche Entscheidungen müssen offen und kontrollierbar im Parlament selbst getroffen werden.
- Demokratische Herrschaft ist immer Herrschaft auf Zeit.
- In der Gesellschaft muss es eine Atmosphäre der freien Rede und des freien Diskurses geben. Die Beziehung von Repräsentanten und Volk darf sich nicht auf den Wahlakt beschränken.

Die Demokratie ist eine Herrschafts- und Strukturentscheidung, die für eine bestimmte Zeit auf eine bestimmte Gesellschaft zugeschnitten ist. Zwischen dem Selbstverständnis des Volkes und der Herr-

Abb. 1: I-Voting: Die Stimmabgabe im Wahllokal wird ersetzt durch den Taschendruck am heimischen PC (Fotos: sst).



schaftsform besteht stets eine Wechselwirkung, so dass eine Veränderung des gesellschaftlichen Miteinanders sich auch auf die Herrschaftsform auswirken kann. Wie verhält es sich mit der Digitalisierung, die den privaten und beruflichen Alltag der meisten Menschen grundlegend verändert hat? Nimmt sie damit auch Einfluss auf die Verwirklichung des Demokratieprinzips? Das wird man in mehrfacher Hinsicht annehmen müssen. Zwar ist jede Prognose, wie sich der politische Meinungsbildungsprozess durch neue Rahmenbedingungen verändert, spekulativ. Dennoch lohnt es sich, verschiedene Formen des Einflusses genauer in Betracht zu ziehen.

unmittelbaren Ausübungsakten fördern. Ein Beispiel ist das „I-Voting“: Die Möglichkeit, bei Wahlen oder Volksabstimmungen die eigene Stimme via Internet abgeben zu können, erleichtert im Vergleich zur Briefwahl und zu traditionellen Urnengängen die Wahrnehmung demokratischer Rechte – vorausgesetzt, die nötige technische Infrastruktur ist vorhanden und die Menüführung auf der jeweiligen Webseite ist verständlich. Allerdings steigt damit zugleich die Missbrauchsgefahr.

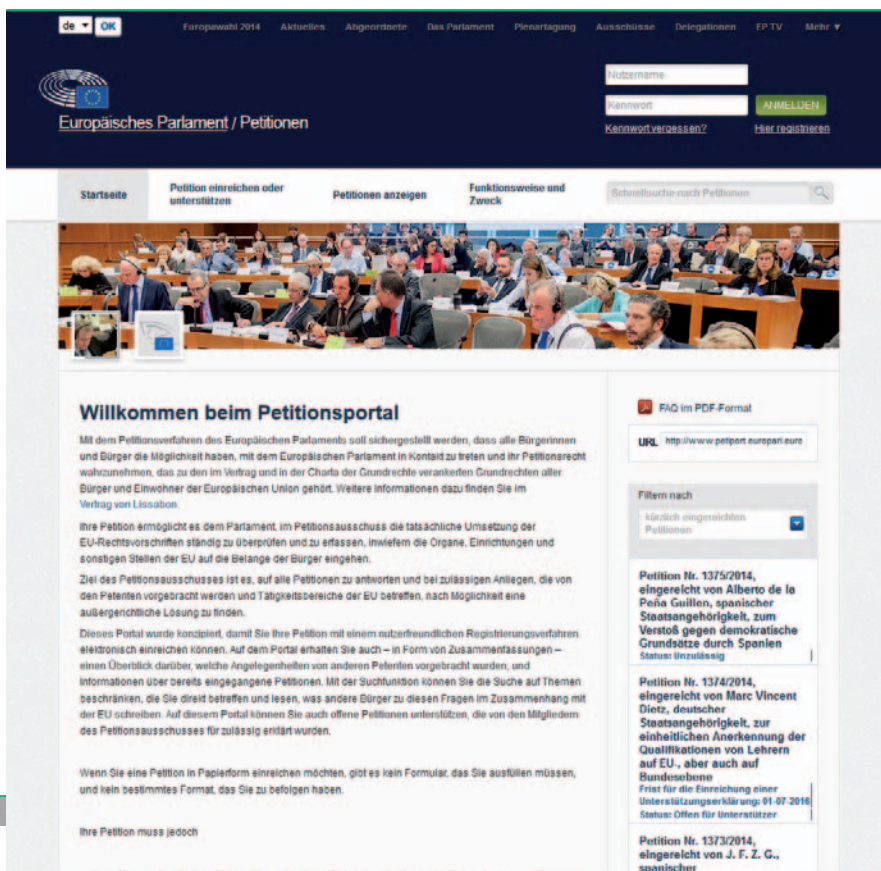
### NEUE KOMMUNIKATIONSWEGE ZWISCHEN VOLK UND REPRÄSENTANTEN

Die Digitalisierung intensiviert die Verbindung des Parlaments und der Abgeordneten zu den Wählern und allgemein zur Bevölkerung deutlich. Die Kommunikation per E-Mail verbessert die Erreichbarkeit von Abgeordneten, die wiederum ihre Ansichten und Ziele mithilfe von Homepages darstellen und erklären können. Die Erweiterung der Frequenzen und das Digitalfernsehen erleichtern die Einrichtung eines staatlichen Parlamentsfernsehens, das Debatten live überträgt. Zudem hat jedermann die Möglichkeit, sich im Internet über Gesetze sowie über Gesetzesbegründungen zu informieren. Die Digitalisierung kann außerdem die Teilnahme an

### INFORMATIONSVREBREITUNG OHNE PROFESSIONELLE VERMITTLUNG

Eine weitere Veränderung betrifft den Informationstransfer zwischen den politischen Verantwortlichen und dem Volk. Sowohl die privatwirtschaftliche Presse als auch der öffentlich-rechtliche Rundfunk und Parteien verlieren an Bedeutung. Immer weniger Zuschauer verfolgen klassische Nachrichtensendungen, gedruckte Qualitätszeitungen verlieren Abnehmer, dagegen erlangen neue Formen der Berichterstattung, etwa in Form von Videos im Internet oder von Blogs, immer größeren Stellenwert. Jeder Blogger wird faktisch zum Journalisten. Und jede Meinungsäußerung, selbst wenn sie nur von Hass und Diffamierungen geprägt ist, kann heute eine ähnliche Reichweite erzielen wie früher ein seriöser Pressebericht. Das von den klassischen Medien besetzte Monopol der Informationsvermittlung entfällt.

Abb. 2: Das Petitionsportal des Europäischen Parlaments: Alle Bürgerinnen und Bürger haben hier die Möglichkeit mit dem Parlament in Kontakt zu treten und ihre Anliegen zu übermitteln.



Der Verlust dieses Monopols hat Vor- und Nachteile. Professionelle Vermittler können helfen, Sachverhalte zu verstehen, sie können eine Vorauswahl der Themen und Argumente treffen und auf diese Weise dafür sorgen, dass bedeutende Fragen in der Gesellschaft überhaupt erst wahrgenommen werden. Sie können zum anderen bei deren Einordnung helfen. Wer beispielsweise ein Museum mit einer schier unendlichen Anzahl an Exponaten besucht, würde ohne Vorkenntnisse an belanglosen Dingen stehen bleiben, Bedeutendes hingegen übersehen, während bei professioneller Leitung schnell die auch aus sachlichen Gründen herausragenden Dinge gefunden werden. Dies ist eine allgemeine Weisheit, die auch für die Politik gilt. Andererseits darf nicht vergessen werden: Vermittler steuern den Informationsfluss, ohne demokratisch legitimiert zu sein. Sie können durch die Auswahl, die Kommentierung, ja die gesamte Art der Berichterstattung die Wahrnehmung von Geschehnissen durch das Volk verändern.



## KOMMUNIKATIONSKULTUR IM UMBRUCH

Die Digitalisierung verändert die Demokratie aber auch dadurch, dass sie die Kommunikation und damit die Lebensader der Demokratie verändert. Die Art zu kommunizieren, zu schreiben, zu betonen, zu argumentieren, die anderen zu überzeugen und sich überzeugen zu lassen, wandelt sich erheblich. Im Zeitalter der Digitalisierung gewinnt die Stimme, die nicht langweilt und die nach der ‚Logik‘ der digitalen Kommunikation überzeugt. Beschleunigung, inhaltliche Verkürzung und Unterhaltung sind dabei die Erfolgskriterien. Wer sie am besten miteinander zu verbinden und umzusetzen weiß, hat auch die beste Aussicht, Prozesse der Meinungsbildung zu beeinflussen oder sogar für sich zu entscheiden. Es ist vermutlich kein Zufall, wenn im Zeitalter der Digitalisierung eine Partei wie „Die PARTEI“ ins Europaparlament gewählt wird – nicht obwohl, sondern weil sie einen Satiriker (oder Komödianten) als Spitzenkandidat aufgestellt hat.

## RISIKEN DER DIGITALISIERUNG FÜR DEN DEMOKRATISCHEN PROZESS

Die Digitalisierung birgt trotz ihres Potenzials, die Teilhabe an der Demokratie zu fördern, auch handfeste Gefahren für den demokratischen Prozess. So ist etwa die Reaktion auf eine politische Rede oder Stellungnahme in Echtzeit messbar an den Reaktionen in sozialen Netzwerken oder den Kommunikationsplattformen, insbesondere Twitter und Facebook. Wer ein politisches Amt innehat, kann seinen ‚Output‘ in Abhängigkeit davon verändern, welche Reaktionen er beim Publikum auslöst. Er hat die Möglichkeit, bewusst das zu sagen, was bei seinem Publikum gerade gut ankommt – sofern er das möchte.

Die Digitalisierung führt in vielfacher Hinsicht dazu, dass öffentliche Meinungsäußerungen und Debatten zum Ersatz politischer Gestaltung werden. Die öffentliche Diskussion bildet dann nicht mehr den Nährboden für die Stimmabgabe bei Wahlen und Volksabstimmungen, sondern sie wird tendenziell zum Selbstzweck. Man redet gern mit, ohne die politischen Möglichkeiten zu nutzen, sich an der Gestaltung des Gemeinwesens zu beteiligen.

## VERÄNDERUNGEN DER DEMOKRATIE ALS HERRSCHAFTSFORM

Die Digitalisierung hat aber auch das Potenzial, die Demokratie in ihrer Eigenschaft als Herrschaftsform grundlegend zu verändern. So kann man etwa fragen: Wofür werden überhaupt noch Repräsentanten benötigt, wenn für jede wesentliche Entscheidung, in die bisher das Parlament einbezogen werden musste, das Volk unmittelbar befragt werden kann – und zwar deshalb, weil es in der Lage ist, durch Abstimmungsgeräte zuhause oder mobil seine Meinung direkt zu äußern? I-Voting könnte die Stelle von Parlamentsgesetzen einnehmen. Im Zuge dieser Entwicklung bestünde die Gefahr, dass diejenigen Nachteile eintreten, welche die Verfassungsgeber vermeiden wollten, als sie sich für eine repräsentative Demokratie entschieden haben. Die nachhaltige Ausrichtung von Entscheidungen, die ganzheitliche Orientierung von Entscheidungen, die Notwendigkeit in bestimmten Punkten fremden Auffassungen zu folgen, um der eigenen Meinung an anderer Stelle Mehrheiten zu verschaffen – all das würde zu kurz kommen.

Die Digitalisierung birgt aber auch eine nicht zu unterschätzende Chance: In einer Demokratie können die Repräsentanten, falls die gesetzlichen Grundlagen und die technischen Voraussetzungen dafür gegeben sind, insbesondere vor weitreichenden Entscheidungen das Volk befragen. Im Vorfeld solcher Volksabstimmungen wächst der Druck, ihre politischen Präferenzen gegenüber dem Volk öffentlich zu begründen. Zugleich bieten kurzfristig angesetzte Volksabstimmungen aber auch die Chance, eine faire öffentliche Meinungsbildung zu organisieren, die sich gezielter Meinungsführung und Manipulation widersetzt. Wer hätte gedacht, dass die Stuttgarter Volksabstimmung zum Neubau des Bahnhofs „Stuttgart 21“ offenlegt, dass die sichtbare und von der Presse stark geförderte Ablehnung der Infrastrukturmaßnahme in Wahrheit nur von einer Minderheit geteilt wird? Auch in dieser Hinsicht könnte das Instrument der Befragung dazu beitragen, dass sich die Demokratie im Zuge der Digitalisierung verändert.

Wer weiß, ob man nicht in 100 Jahren auf die Digitalisierung als eine Revolution zurückblicken wird, von der auch die Demokratie als Herrschaftsform nicht unberührt geblieben ist?

### AUTOREN



Prof. Dr. Heinrich Amadeus Wolff ist Inhaber des Lehrstuhls für Öffentliches Recht, Recht der Umwelt, Technik und Information an der Universität Bayreuth.



Bastian Stemmer ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Recht der Umwelt, Technik und Information an der Universität Bayreuth.



**GOVERNANCE &  
RESPONSIBILITY**

■ JÖRG RAMBAU

# Optimale Diplomatie

ZUR ERFORSCHUNG VON MEINUNGSDYNAMIKEN IN COMPUTERSIMULATIONEN

■ Szenenbild aus dem Film „Die 12 Geschworenen“ aus dem Jahr 1957. Als DVD und Blu-ray veröffentlicht am 12.7.2013 bei der Twentieth Century Fox Home Entertainment. Foto: © Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. All Rights Reserved.



**E**in düsteres Juryzimmer. Ein heißer Tag. Ein klarer Fall: des Mordes schuldig. Von den 12 Geschworenen wird ein einstimmiges Urteil verlangt. „Schuldig“ würde das Todesurteil für den angeklagten jungen Mann bedeuten. Bei der ersten Abstimmung hinter geschlossener Tür stimmt allein Juror #8, dargestellt von Henry Fonda, für „nicht schuldig“. Was dann folgt, ist das Paradebeispiel für Meinungsdynamik in der Filmgeschichte. Am Ende des Films stimmen *alle* Juroren für „nicht schuldig“. Um Meinungsdynamik geht es auch in diesem Beitrag: Wie beeinflussen sich Meinungen gegenseitig? Und kann man die eigene Diskussionsstrategie auf diese Dynamik abstimmen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen?

Schön wäre es, wenn man diese Fragen mit einem mathematischen Modell untersuchen könnte, in das man Anfangsbedingungen einsetzt und das einem Vorhersagen über die Entwicklung der Meinungen errechnet. In den Natur- und Ingenieurwissenschaften sind solche Modelle erfolgreich – Computer-Simulationen liefern verlässliche Vorhersagen auf Basis bekannter physikalischer Wechselwirkungen. Aber dass man Erkenntnisse über soziale Wechselwirkungen vom Rang physikalischer Naturgesetze entdecken und solchen Simulationen zugrunde legen könnte, glauben wohl nicht einmal die größten Optimisten.

Wir müssen uns mit weniger zufrieden geben: Wir entwerfen ein Modell für eine künstliche Gesellschaft. Diese können wir mit Mathematik und/oder durch Simulation untersuchen und uns damit die digitale Revolution zunutze machen. Dabei legen wir dem Modell plausible Annahmen hinsichtlich sozialer Wechselwirkungen zugrunde. Wir definieren die Wechselwirkungen zwischen den Mitgliedern der künstlichen Gesellschaft – wir nennen sie im folgenden „Agenten“ – gerade nur so kompliziert, dass wichtige Phänomene realer Gesellschaften auch in dieser künstlichen Gesellschaft zum Vorschein kommen. Natürlich kann man damit keine belastbaren quantitativen Vorhersagen über reale Gesellschaften machen. Aber man kann zum Beispiel inkonsistente Argumentationen aufdecken: Postulierte Gesetzmäßigkeiten in der realen Gesellschaft, für die es in der künstlichen Gesellschaft Gegenbeispiele gibt, können nur durch solche Argumente gestützt werden, die sich auf andere als die in der künstlichen Gesellschaft installierten Mechanismen berufen.

## MEINUNGSDYNAMIK IN EINER KÜNSTLICHEN GESELLSCHAFT

Hier ist nun ein Modell für die Meinungsdynamik in einer künstlichen Gesellschaft: Jede Meinung wird repräsentiert durch eine Zahl zwischen 0 und 1. Diese Werte definieren den „Meinungsraum“, in welchem sich die Dynamik der Meinungsbildung abspielt. Übertragen auf das Filmbeispiel: 0 ist die Überzeugung, der Angeklagte sei unschuldig; 1 ist die Überzeugung von seiner Schuld. In dieser künstlichen Gesellschaft nimmt ein Agent nur die Meinungen ernst, die nicht zu weit von seiner eigenen entfernt sind. Formeller: Das „Konfidenzintervall“ einer Meinung  $x$  besteht aus allen Meinungen, die nicht weiter als  $r$  von  $x$  entfernt sind; die Zahl  $r$  heißt „Konfidenzradius“. Jeder Agent wird nur von Meinungen in seinem Konfidenzintervall beeinflusst. Somit kann ein Agent mit einer Meinung  $x$  von Agenten, die der Meinung 0 näherstehen, genauso beeinflusst werden wie von Agenten, die der Meinung 1 näherstehen – entscheidend ist, dass  $r$  in *keiner* der beiden Richtungen überschritten wird. Abb.1 zeigt eine Meinung (blaue Kreise) zusammen mit ihrem Konfidenzintervall (blassblauer Schlauch) über die Zeit für einen willkürlich gewählten Konfidenzradius von 0.111.

Unser Modell ist wie folgt definiert: Ähnlich wie bei den Geschworenen im Juryraum, gibt es mehrere aufeinander folgende Diskussionsrunden. Jede Meinung wandert während jeder Runde auf den Durchschnittswert aller Meinungen in ihrem Konfidenzintervall. Abb. 2 zeigt, wie sich 11 zu Beginn gleichmäßig verteilte Meinungen gegenseitig in 10 Runden beeinflussen. Am Ende haben einige Agenten dieselbe Meinung, aber nicht alle. Dieses Modell ist das „Hegselmann-Krause-Modell“, es wird auch als „Bounded-Confidence Model“ bezeichnet. Der Philosoph Rainer Hegselmann hat es Ende der 1990er Jahre gemeinsam mit dem Mathematiker Ulrich Krause entwickelt.<sup>1</sup> Die grundlegende, 2002 erschienene Arbeit wurde laut Google Scholar bereits über 1000 mal zitiert.

## FLEXIBLE DIPLOMATIE ODER „KLARE KANTE“?

Was bedeutet in diesem Kontext nun „Diplomatie“? Bislang gibt es in unserem Modell keinen Agenten, der ein Ziel verfolgt; die Meinungsdynamik ist unbeeinflusst. Stellen wir uns nun aber vor, dass ein strategischer Agent nach 10 Runden gern möglichst viele Meinungen in einem vorgegebenen

AUTOR



Prof. Dr. Jörg Rambau ist Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsmathematik an der Universität Bayreuth.

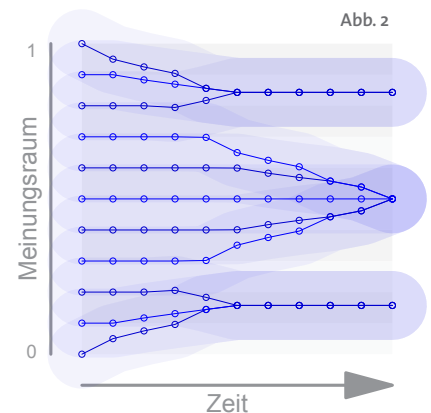
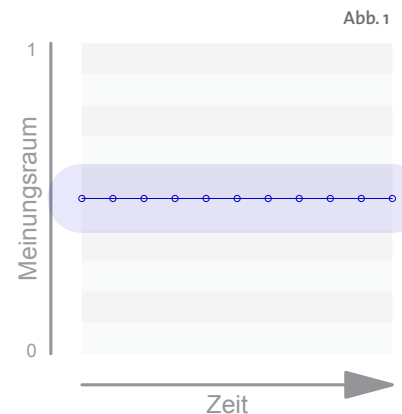
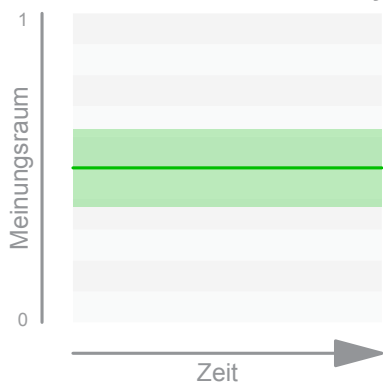


Abb. 3



nen Intervall, dem „Zielintervall“, sehen würde. So wie das Intervall in **Abb. 3** (grüner Streifen) mit der zentralen „Zielmeinung“ 0,5. Agenten in so einem mittleren Zielintervall („Überzeugte“) sind im Fall der Jury diejenigen, die weder von der Schuld noch von der Unschuld des Angeklagten überzeugt sind. Was darf unser strategischer Agent tun, um zu überzeugen und sein Ziel zu erreichen? Er darf nicht mehr tun, als in jeder Runde eine Meinung zu äußern, welche dann die Meinungsdynamik nach dem gleichen Prinzip beeinflusst wie die anderen.

### INDIREKTE BEEINFLUSSUNG

Wie ist nun das Verhalten von Juror #8 im Film einzuordnen? Wir wissen am Ende des Films, dass alle von der Anklage vorgebrachten Indizien aus seiner Sicht wackeln. In einer künstlichen Gesellschaft hätte #8 wohl die 0,5-Meinung. Aber was ist seine erste Stellungnahme? Eine 0,5-Meinung? Hören wir mal rein:

**#8: I just want to talk.** [Ich will einfach reden.]

**#7: Well, what's there to talk about? Eleven men in here think he's guilty. No one had to think about it twice except you.** [Na, was gibt es da zu reden? Elf Männer in diesem Raum denken, dass er schuldig ist. Keiner musste zweimal darüber nachdenken, nur Sie.]

**#10: I want to ask you something: do you believe his story?** [Ich will Sie etwas fragen: Glauben Sie seine Geschichte?]

**#8: I don't know whether I believe it or not – maybe I don't.** [Ich weiß nicht, ob ich sie glaube oder nicht – kann sein, ich glaub' sie nicht.]

**#7: So how come you vote not guilty?** [Wie kommen Sie also dazu, für ‚nicht schuldig‘ zu stimmen?]

**#8: Well, there were eleven votes for guilty. It's not easy to raise my hand and send a boy off to die without talking about it first.** [Naja, es gab elf Stimmen für ‚schuldig‘. Es ist nicht einfach, meine Hand zu heben und einen Jungen zum Sterben wegzuschicken, ohne erst einmal darüber zu reden.]

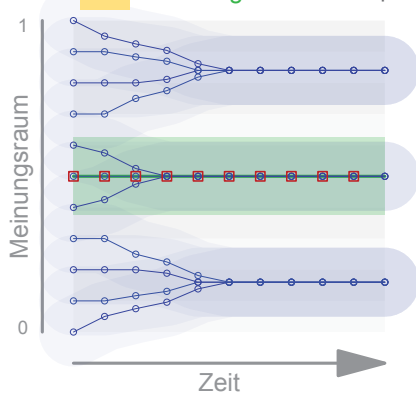
**#7: Well now, who says it's easy?** [Also, wer sagt denn, dass es einfach ist?]

**#8: No one.** [Keiner.]

**#7: What, just because I voted fast? I honestly think the guy's guilty. Couldn't change my mind if you talked for a hundred years.** [Was, bloß weil ich schnell abgestimmt habe? Ich denke ehrlich, der Kerl ist schuldig. Sie könnten meine Meinung nicht ändern, auch wenn Sie hundert Jahre lang reden würden.]

**#8: I'm not trying to change your mind. It's just that ... we're talking about somebody's**

3 Überzeugte Abb. 4



Uns interessieren hier folgende Fragen:

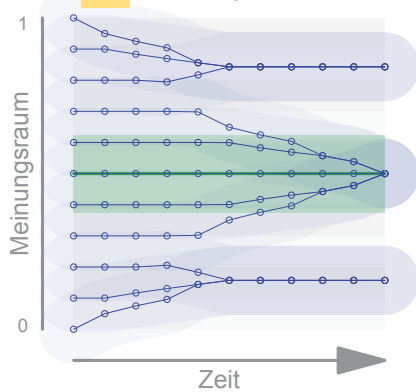
- Überzeugt man im Vergleich zur unbeeinflussten Dynamik mehr Agenten, wenn man immer wieder seine Zielmeinung bekräftigt („klare Kante“)?
- Überzeugt man mehr Agenten, wenn man eine von der Zielmeinung abweichende Meinung äußert („Diplomatie“)?
- Und: Mit welchen Meinungsäußerungen kann man die meisten Agenten in das Zielintervall „ziehen“ („optimale Diplomatie“)?

In **Abb. 4** sehen wir die Ergebnisse von „Klare Kante“ (rote Quadrate): nur 3 Überzeugte. Ohne strategische Einflussnahme in **Abb. 5** sind es immerhin 5 Überzeugte. Wie kann das sein? Der strategische Agent hat die mittleren drei Agenten beeinflusst und damit schneller in die Mitte gezogen. Dadurch ist aber deren Einfluss auf weiter entfernte Agenten abgerissen.

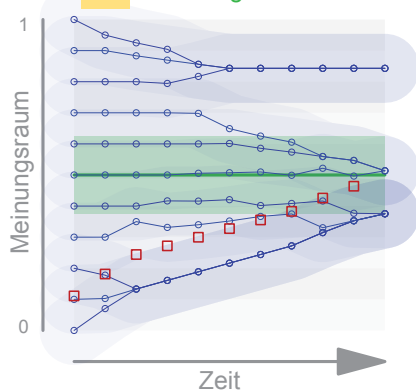
In **Abb. 6** sehen wir hingegen die Auswirkungen einer „opportunistischen“ Diplomatie: In Kenntnis des Konfidenzradius'  $r = 0.111$  zieht der strategische Agent alle unteren Agenten – die der Meinung 0.0 näherstehen als er selbst – nach und nach in die Mitte. Dies gelingt ihm, weil er nie das Konfidenzintervall dieser Agenten verlässt. So überzeugt er schließlich insgesamt 8 Agenten.

Der diplomatische Spielraum ist in **Abb. 6** unbegrenzt. Gleich zu Beginn der ersten Runde äußert der strategische Agent eine Meinung, die sehr weit vom Zielintervall entfernt ist. Ein derartiger Spielraum aber kann als ethisch fragwürdig angesehen werden. Von Diplomatie kann man „Konsistenz“ fordern. Dann darf der strategische Agent nur Meinungen in seinem eigenen Konfidenzintervall äußern, wenn er im Hinblick auf ein vorgegebenes Ziel flexibel agiert.

5 Überzeugte Abb. 5



8 Überzeugte Abb. 6





life here. We can't decide it in five minutes. Supposing we're wrong? [Ich versuche nicht, Ihre Meinung zu ändern. Es ist bloß ... wir reden hier über das Leben von jemandem. Wir können das nicht in fünf Minuten entscheiden. Angenommen, wir liegen falsch?]

**#7: Supposing we're wrong! Supposing this whole building should fall down on my head. You can suppose anything!** [Angenommen wir liegen falsch! Angenommen dieses ganze Gebäude sollte mir auf den Kopf fallen. Annehmen kann man alles!]

**#8: That's right.** [Das stimmt.] <sup>2</sup>

Nichts zieht #8 in Zweifel, ausgenommen die Eilfertigkeit seiner Kollegen. Das sieht eher nach einer 0,9 als nach einer 0,5 aus – und zwar umso mehr, als #8 für den Fall eines weiteren 11:1-Votums zusagt, sich der klaren Mehrheitsmeinung anzuschließen. Um dies zu verhindern, muss er jetzt mindestens ein Jurymitglied gewinnen. Und in der Tat, Juror #9 stimmt mit „nicht schuldig“, weil er nun vom Sinn eines Gesprächs überzeugt ist – die umsichtige Stellungnahme von #8 hat gewirkt!



Abb. 9: Szenenbild aus dem Film „Die 12 Geschworenen“. DVD und Blu-ray veröffentlicht bei Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. Foto: © Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. All Rights Reserved.

Wir wissen nicht, ob das auch passiert wäre, wenn #8 gleich zu Beginn eine klare 0,5-Position vertreten und erklärt hätte, alle Indizien seien nicht zwingend. Ganz sicher aber wäre der Film um eine Subtilität ärmer. Der Gewinn von #9 zu Beginn ermöglicht eine Pointe gegen Ende des Films: #8 kann #4 nicht umstimmen – es ist #9, der #4 schließlich doch noch überzeugt. Der Einfluss von #8 auf #4 wirkt also nur über #9! Eine solche indirekte Beeinflussung ist für die Dynamik der Meinungen im Hegselmann-Krause-Modell typisch.

Unsere künstliche Gesellschaft und #8 – und manchmal auch unsere Erfahrung – legen nahe, dass „Diplomatie“ gelegentlich wirksamer ist als „klare Kante“. Wollte man „klare Kante“ trotzdem als ethische Norm installieren, so müsste man die Konsequenzen verminderten Einflusses verantworten.

#### AUF DER SUCHE NACH OPTIMALER DIPLOMATIE

Wie findet man nun eine optimale Diplomatie, zum Beispiel in Bezug auf die 11 Geschworenen, und wie viele kann man maximal in einer festen Anzahl von Runden überzeugen? Formal handelt es sich um ein Problem der optimalen Steuerung bei nicht-linearer, nicht-differenzierbarer, ja sogar nicht-stetiger Dynamik. Solche Optimalsteuerungsprobleme sind mathematisch böseartig – und damit auch unabhängig von möglichen Anwendungen interessant.<sup>3</sup> Aus Berechnungen am Bayreuther Lehrstuhl für Wirtschaftsmathematik ist Abb. 6 hervorgegangen. Sie zeigt eine optimale Diplomatie für 10 Runden mit Meinungsverläufen für einen Konfidenzradius von  $r = 0,150$ . Für  $r = 0,111$  kommt man auf 8 Überzeugte, doch konnte im Rahmen dieser Arbeiten bislang nicht bewiesen werden, dass 11 unmöglich sind. Mit einem „Gemischt-Ganzzahligen Linearen Modell“ ist aber immerhin ein Werkzeug entwickelt worden, das es ermöglicht, Schranken für das Optimum zu berechnen. Beim „Geschworenen-Problem“ liefert das aber nur bis zu 6 Runden in akzeptabler Rechenzeit das Optimum.<sup>4</sup> Um weiter zu kommen, sind neue mathematische Methoden notwendig.

*Nota bene:* Um die volle Dynamik in „12 Angry Men“ zu erklären, reicht die eindimensionale Sicht in diesem Beitrag natürlich nicht aus. Sonst wäre der Film wohl kaum so beeindruckend.

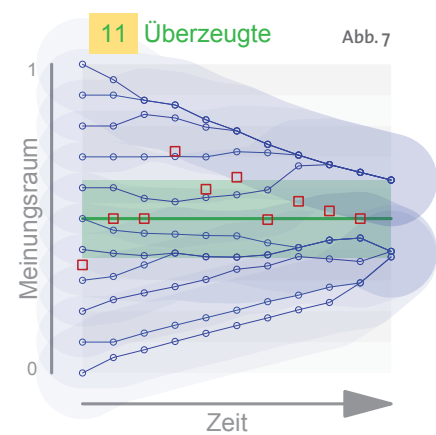


Abb. 1-7: Grafiken: Jörg Rambau.



Abb. 8: Prof. Dr. Rainer Hegselmann hatte von 1996 bis 2015 einen Lehrstuhl für Philosophie an der Universität Bayreuth inne. Hier hat er das Studienprogramm „Philosophy & Economics“ konzipiert und aufgebaut. In der Forschung hat er international vielbeachtete Beiträge zur computergestützten Analyse von Meinungsdynamiken geleistet (Foto: Peter Kolb).

- 1 Rainer Hegselmann and Ulrich Krause: Opinion dynamics and bounded confidence – models, analysis, and simulation, in: Journal of Artificial Societies and Social Simulation 5 (3), 2002. Das „Hegselmann-Krause-Modell“ unterscheidet sich von älteren Modellen unter anderem dadurch, dass letztere unter milden Bedingungen immer im Konsens endeten.
- 2 www.imdb.com/title/tt0050083/quotes, aufgerufen am 12.11.2015.
- 3 Zudem passt die Hegselmann-Krause-Dynamik auch auf andere Phänomene, wie etwa das Schwarmverhalten bei Vögeln oder Fischen. Vgl. Bernard Chazelle: Natural algorithms and influence systems, in: Communications of the ACM 55 (12), 2012, 101–110.
- 4 Rainer Hegselmann, Stefan König et al.: The Campaign Problem, in: Journal of Artificial Societies and Social Simulation 18 (3), 2015, 1–47.

## KULTURBEGEGNUNGEN UND TRANSKULTURELLE PROZESSE



■ JOCHEN KOUBEK

# Computerspielwissenschaften

MEDIALE, KULTURELLE UND TECHNISCHE ASPEKTE

■ Ausschnitt aus dem von Sebastian Reuther, Thomas Terebesi und Timo Radzik an der Universität Bayreuth entwickelten Computerspiels *Belämmert*. Der Spieler steuert dabei ein Schaf, das verschiedene Inseln mit Energie und Rohstoffen versorgt, um die Gesellschaft zusammenzuhalten (Bild: Jochen Koubek).



## „COMPUTERSPIELE SIND IM WAHRSTEN SINNE DES WORTES EINE KULTUR-TECHNIK.“

An der Universität Bayreuth beginnt im Wintersemester 2015/16 der Masterstudiengang „Computerspielwissenschaften (M.A./M.Sc.)“. Die Computerspielwissenschaften sehen sich in der Tradition der Literatur-, Musik-, Theater-, Film- und Fernsehwissenschaften, die sich zu verschiedenen Zeiten als wissenschaftliche Beschäftigung mit einem speziellen Medium etabliert haben. Und weil Medien in ästhetische, historische, mediale, ökonomische, psychologische, rechtliche, soziale und technische Kontexte eingebettet sind, um nur einige zu nennen, muss ihre wissenschaftliche Begleitung als Kooperation verschiedener Disziplinen angelegt sein, die sich mit verschiedenen Aspekten befassen. Daher der Plural „Computerspielwissenschaften.“

An der Universität Bayreuth gründen die Computerspielwissenschaften auf einer Zusammenarbeit der Fächer Medienwissenschaft und Informatik. Die Themen und Fragestellungen, die hier in Forschung und Lehre auf der Agenda stehen, betreffen vor allem die medialen Besonderheiten von Computerspielen, ihren Status als Kulturgut, ihre globale Verbreitung und unterschiedlichen kulturellen Ausprägungen, die unter dem Begriff der „Gaming Literacy“ zusammengefassten Kompetenzen sowie zahlreiche anspruchsvolle Aufgaben auf dem Gebiet der Programmierung.

### COMPUTERSPIELE ALS MEDIUM

Dass Computerspiele mediale Funktionen haben, ist unbestreitbar. Aber worin liegt ihre spezifische Medialität? Bereits beim Erzählen einer Geschichte gehen sie anders vor als der Spielfilm. Filmgeschichten laufen immer in der gleichen festgelegten Reihenfolge von Szenen ab. Computerspielgeschichten werden hingegen erst durch den Akt des Spielens hervorgebracht und gestalten sich bei jedem Durchlauf anders. Zwar gibt es in vielen Spielen vorbereitete Handlungssequenzen, die an bestimmten Punkten präsentiert werden. Doch auf die Reihenfolge dieser Abschnitte haben die Spieler teilweise einen erheblichen Einfluss. Wie aber kann eine Geschichte erzählt werden, wenn nicht vorhersehbar ist, über welche Informationen die Rezipienten zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügen? Wie wirkt sich diese Ungewissheit auf die Erzählung aus? Und wie verhält es sich mit Spielen, in denen die Narration – ohne Kontrolle durch den Urheber des Spiels – allein durch den oder die Spieler erzeugt wird?

Computerspiele sind aber nicht nur performativ hervorgebrachte Erzählungen, sondern zunächst einmal computergesteuerte Regelsysteme. Wenn beispielsweise in *The Sims* (EA, 2000), einem der meistverkauften PC-Spiele der Welt, die Zufriedenheit der Spielfigur im Wesentlichen mit ihrem materiellen Wohlstand steigt, dann ahnt man, dass diese Systeme keineswegs nur harmlose Spielregeln sind, sondern in ihrem kulturellen Kontext eine ganz eigene mediale Kraft entfalten können.

### COMPUTERSPIELE ALS KULTURGUT

Nicht zuletzt ihr ökonomischer Erfolg hat in den letzten zehn Jahren dazu geführt, dass Computerspiele auch in Deutschland als Kulturgut zur Kenntnis genommen werden. Der Deutsche Computerspielpreis, die Aufnahme von Spielentwicklungen in die Kulturförderung oder kuratierte Ausstellungen in Museen sorgen für eine Veränderung der öffentlichen Wahrnehmung. Zusammen mit diesen institutionalisierten Anerkennungen stellt sich die Frage, wie digitale Spiele historisierend bewahrt und zugänglich gemacht werden können. Denn nicht nur die technischen Plattformen, auf denen die Spiele ausgeführt werden, verschwinden vom Markt oder fallen durch Defekte aus. Auch die Datenträger, auf denen sie gespeichert sind, unterliegen Alterungsprozessen. Selbst ein gut erhaltenes Speichermedium garantiert nicht, dass die darauf enthaltenen Datenformate noch interpretiert werden können. Und falls es gelingt, ein altes Spiel zum Laufen zu bringen, muss auch jemand wissen, wie es zu bedienen ist. Viele Spiele sind nicht selbsterklärend und benötigen Übung und Erfahrung für ihre Rezeption.



Abb. 1: Gamepad – ein zentrales Gerät für die Steuerung von Computerspielen (Foto: sst).

Abb. 2: Ausschnitt aus dem Computerspiel *Venus in Rage*, das an der Universität Bayreuth gemeinsam von Larissa Schmidt, Thomas Hilgers, Alexandra Kapralova, Anastasia Gusakov, Maxim Zimmermann, Lukas Haber entwickelt wurde (Bild: Cyrus Mobasher).



Abb. 3: Bachelor-Studierende der Medienwissenschaft bei einer Präsentation von neuen, an der Universität Bayreuth entwickelten Computerspielen in der Bayreuther Stadtbibliothek (Foto: Christian Wißler).

AUTOR



Prof. Dr. Jochen Koubek ist Professor für Digitale Medien an der Universität Bayreuth und Moderator des neuen Masterstudiengangs „Computerspielwissenschaften“.

Wollen die Computerspielwissenschaften auch in Zukunft auf ihre historischen Bestände zugreifen, ist die Frage der Bewahrung digitaler Spiele – ihre Annotierung, Archivierung und Zugänglichmachung – eine zentrale Herausforderung.

### KULTURELLE EIGENHEITEN EINES WELTWEIT VERBREITETEN MEDIUMS

Computerspiele sind ein globales Medium. Inwiefern können sie nationale und lokale Eigenheiten aufweisen? Diese Frage wird in der Forschung mit zunehmender Intensität diskutiert. Analysen von nationalen Computerindustrien, die sich mit Produzenten und Rezipienten befassen, können durchaus interessante Ergebnisse zutage fördern. So gibt es beispielsweise in Kanada 329 Spielfirmen mit mehr als 16.500 Mitarbeitern, die jährlich rund 2,3 Mrd. Dollar zum Bruttoinlandsprodukt beitragen. Das kürzlich erschienene Buch von Mark. P. Wolf *Video games Around the World*<sup>1</sup> enthält Informationen und Geschichten zur Spieleindustrie aus 39 Ländern, diskutiert die Bedeutung zentraler Entwickler und Publisher und bietet erstmals einen Überblick über die internationale Spieleindustrie.

Doch die Ausgangsfrage wird so noch nicht zufriedenstellend beantwortet. Denn es kommen bei solchen Analysen keine Kategorien zur Anwendung, die geeignet wären, Medieninhalte zu beschreiben und Beziehungen zu den kulturellen Kontexten von Computerspielen herzustellen. An diesem Punkt führen die Begriffe „Narration“, „Ludition“ und „Audiovision“ weiter – wobei hier der Einfachheit halber kulturelle Eigenarten innerhalb von Landesgrenzen betrachtet werden:

Nationale **Narrative** sind Erzählungen, die für die Kultur eines Landes eine besondere Bedeutung haben – wie beispielsweise Rekonstruktionen historischer Ereignisse. So sind wichtige Stationen der Geschichte der USA im Computerspiel außeror-



dentlich präsent – sei es die Unabhängigkeitserklärung, der Bürgerkrieg, die Besiedlung des Westens oder der Zweite Weltkrieg.

Nationale **Luditive** umfassen Spiele, die innerhalb eines Landes als nationale Aktivität aufgefasst werden. Solche Spiele spiegeln in ihren Regeln, Handlungsmöglichkeiten, Spielabläufen und Siegbedingungen gemeinschaftliche Werte und Emotionen in besonderer Weise wider. ‚Typisch französische‘ Spiele sind z.B. *Pétanque. Le jeu provençal* (Micro Application 2008) oder *Paris-Dakar-Rally* (Acclaim 2001). Südkorea ist bisher das einzige Land, in dem sich ein Computerspiel – nämlich *Starcraft* (Blizzard 1998) – als inoffizieller Nationalsport etabliert hat.

Nationale **Bilder** haben für eine Kulturgemeinschaft identitätsstiftende Funktionen, sei es aufgrund von Inhalten oder formalästhetischen Merkmalen. Weltweit versuchen Computerspiele diese Kraft der Bilder zu nutzen. Diesbezügliche Analysen führen aber rasch zu Fragen nach Stereotypen und Klischees und deren Funktionen.

In vielen digitalen Spielen sind die audiovisuelle und die prozedurale Ebene nur lose aufeinander bezogen. Dies führt nicht selten dazu, dass dieselben Spielmechaniken auf sehr unterschiedliche Inhalte – und damit auch auf verschiedene nationale und kulturelle Kontexte – bezogen werden. Ein signifikantes Beispiel ist die Reihe *Strike franchise*. Das erste Spiel – *Desert Strike* (Electronic Arts, 1992) – hatte direkte Bezüge zum zweiten Irakkrieg. Die folgenden Spiele übertrugen dieselben Mechaniken dann auf andere Szenarien: auf Militäroperationen gegen südamerikanische Drogenkartelle,

## Gaming Literacy

Der aus dem Bereich der Schriftmedien abgeleitete Begriff der Literacy bezeichnet die Fähigkeit eines Individuums, an gesellschaftlichen Ausdrucksformen, Symbolsystemen und Praktiken teilzunehmen – und zwar sowohl verstehend als auch erschaffend. Lesen und Schreiben sind Basiskompetenzen; es sind Schlüsselqualifikationen, die sich gegenseitig bedingen. Der Bamberger Deutschdidaktiker Ulf Abraham drückt es so aus: Wir „lesen, um besser zu schreiben und umgekehrt.“<sup>2</sup>





terroristische Angriffe gegen die USA oder post-sowjetische osteuropäische Truppenaufgebote.

Alle diese Beobachtungen zeigen, dass die öffentliche Wahrnehmung von Computerspielen bis heute sehr eingeschränkt ist. Sie konzentriert sich allzu sehr auf wenige, durchaus kritisch zu diskutierende Beispiele, ohne das Medium in seiner Breite in den Blick zu bekommen. Zu dieser Breite gehören die Vielfalt kultur- und landesspezifischer Eigenheiten, die sich in Computerspielen abbilden, aber auch neue hybride Ästhetiken, die aus verschiedenen kulturellen Einflüssen hervorgehen. Im neuen Bayreuther Masterstudiengang haben die Studierenden die Möglichkeit, auch diesen spannenden Themen nachzuspüren.

Was für Schriftmedien gilt, kann auf den verständigen und konstruktiven Umgang mit anderen Medien übertragen werden. Bilder, Bewegtbilder,



Töne oder interaktive Medien schaffen kulturelle Sinnangebote; wer daran teilhaben will, muss die jeweils erforderlichen Schreib-/Lesekompetenzen mitbringen. „Gaming Literacy“ bedeutet in diesem Zusammenhang die Fähigkeiten, die in Spielen enthaltenen Sinnangebote zu entziffern, sie verstehend zu erschließen und damit zugleich die Fähigkeit, selber Spiele zu erzeugen. Und weil Computerspiele immer auch Softwaresysteme sind, werden spätestens an dieser Stelle informatische Kompetenzen unabdingbar.

### TECHNISCHE ASPEKTE

Die Informatik in den Computerspielwissenschaften beschäftigt sich mit der technischen Gemachtheit digitaler Spiele. Dabei geht es um hochkomplexe Programme, welche die Nutzereingaben erfassen, sie zusammen mit physikalischen Berechnungen in eine sich selbstständig verändernde Spielwelt einarbeiten und diese in Echtzeit in Bild und Ton darstellen. Jedes der Module, die an diesen technischen Funktionen beteiligt sind, befindet sich in permanenter Entwicklung. Am sichtbarsten wird dies in der Computergrafik, die immer komplexere und detailliertere Spielwelten hervorbringt. Aber auch in allen anderen Bereichen lösen neue Algorithmen alte Probleme, ermöglichen größere Rechenleistungen verbesserte Abläufe und werfen technische Fortschritte ganz eigene Fragen auf. Die Herausforderung, alte Spiele über einen längeren Zeitraum verfügbar zu halten als es ihr normaler Produktlebenszyklus vorsieht, erweist sich somit auch als informatisches Problem.

Computerspiele sind im wahrsten Sinne des Wortes eine Kultur-Technik, deren Beobachtung und Beschreibung sowohl die sinnerschließenden Methoden einer Medienkulturwissenschaft als auch die technikwissenschaftlichen Zugänge der Informatik benötigt. Die an der Universität Bayreuth neu etablierten Computerspielwissenschaften bilden diese medialen, kulturellen und technischen Aspekte ab – sowohl in einem bundesweit einzigartigen Masterstudiengang und einem darauf aufbauenden Promotionsprogramm als auch in begleitenden Forschungsprojekten. Sie betreiben somit Wissenschaft im Humboldtschen Sinne als Einheit von Forschung und Lehre. Dies ist das Privileg von neuen Fächern: Studierende und Promovierende erhalten Einblick in neueste Forschungsergebnisse und sind dabei eingeladen, an der Erforschung der daraus resultierenden Fragen selbst mitzuwirken.

**Abb. 4:** Gaming Literacy bedeutet auch, sich mit alten Spielen und Geräten auszukennen, auf denen die neueren Entwicklungen aufbauen. Hier spielt eine Bayreuther Studentin *Gauntlet*, ein seinerzeit besonders innovatives Computerspiel aus dem Jahr 1985 (Foto: Jochen Koubek).

- 1 Mark P. Wolf: Video Games Around The World. Cambridge MA: MIT University Press (2015).
- 2 Ulf Abraham: Lesen zum Schreiben, Schreiben zum Lesen. Integrative Konzepte zur Schriftlichkeitsförderung in den Sekundarstufen und an der Hochschule. In: Bernhard Hoffmann und Renate Valtin (Hg.), Checkpoint Literacy. Tagungsband 2 zum 15. Europäischen Lesekongress 2007 in Berlin. Frankfurt am Main 2008. S. 154-164, hier: S. 157.

## AFRIKASTUDIEN

Tshelantendu  
à Tshashalet  
1931



■ SIGRID HORSCH-ALBERT

# DEVA – ein neues Informationssystem für die Afrikaforschung

WIE DIE DIGITALISIERUNG KULTURELLES ERBE BEWAHRT  
UND DER WISSENSCHAFT ZUGÄNGLICH MACHT

■ Die Zeichnung des kongolesischen Künstlers Djilatendo – auch unter dem Namen Tshelantendes bekannt – entstand 1931 (ohne Titel, Bleistift, Aquarellfarben auf Papier; hier ein Ausschnitt). Es ist das älteste Werk in der Kunstsammlung Iwalewahaus. Bevor Bildwerke zum Zweck ihrer digitalen Archivierung fotografiert werden, werden an den Seiten Muster mit definierten Farbwerten – sogenannte Farbkeile – befestigt. Diese werden mitfotografiert, um später die Farbchtheit von Drucken und Bildschirmdarstellungen kontrollieren zu können (Foto: DEVA).



**D**EVa startete 2008 als ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Projekt zur Digitalisierung, elektronischen Edition und Verfügbarmachung von Daten der Afrikawissenschaften. Ziel war und ist es, die Forschungsergebnisse, wissenschaftlichen Daten und Dokumente, die in vier Jahrzehnten aus den Afrikastudien der Universität Bayreuth hervorgegangen sind, zu erfassen, zu archivieren und in systematischer Form zugänglich zu machen. In der Vielfalt der Informationen, die auf diese Weise elektronisch verfügbar werden, spiegelt sich die Multi- und Interdisziplinarität der Bayreuther Afrikaforschung mit ihren Beiträgen aus der Ethnologie und Soziologie, der Religionswissenschaft, den Sprach- und Literaturwissenschaften, den Rechtswissenschaften, der Geographie, Biologie und Geoökologie.

Die Schriftdokumente, die auf ihre Erschließung warten, sind sehr heterogen: Sie umfassen nicht nur Feldforschungs-Notizbücher und Wortlisten zu afrikanischen Sprachen, sondern beispielsweise auch unveröffentlichte Dissertationen afrikanischer Universitäten, Hörspielmanuskripte, Interviews mit Künstlern und Politikern, Abhandlungen zu moderner afrikanischer Literatur, biografisches Material zu Autoren und ihren Werken sowie Zeitungen und Zeitschriften. Hinzu kommen Fotografien und Diapositive, Tondokumente, Mikrofilme, Originale und Kopien von Landkarten, Postkarten, Plakate sowie audiovisuelle Dokumente.

## BILDENDE KUNST UND TONDOKUMENTE IM IWALEWAHAUS

Einen Schwerpunkt von DEVA bildet die systematische Erschließung und Dokumentation der umfangreichen Sammlungen, die das Iwalewahaus aufbewahrt. Dieses Zentrum für afrikanische Gegenwartskunst wurde 1981 als Einrichtung der Universität Bayreuth gegründet. Es verfügt über eine in Europa einzigartige Sammlung moderner und zeitgenössischer bildender Kunst aus Afrika, Asien und dem pazifischen Raum. Künstlerische Schulen und Richtungen in Nigeria bilden den Schwerpunkt, darüber hinaus vereint die Sammlung bedeutende Werke aus Kenia, dem Sudan, Tansania, Mosambik und der DR Kongo sowie aus Haiti, Indien, Papua-Neuguinea und Australien. Bei den Kunstwerken handelt es sich vor allem um Gemälde, Druckgrafiken und Zeichnungen. Das älteste Stück, eine Hand-

zeichnung des kongolesischen Künstlers Djilatendo, datiert aus den 1930er Jahren.

Zu den Beständen im Iwalewahaus zählen des Weiteren eine umfangreiche Plakatsammlung sowie zahlreiche Ethnografika. Eine wertvolle Textilsammlung umfasst rund 700 Stücke, insbesondere die Sammlung von René und Bernhard Gardi. Sie enthält einige kostbare Stoffe, die bereits einhundert Jahre alt sind und heute in dieser Art nicht mehr hergestellt werden.

DEVA hat es sich daher zur Aufgabe gemacht, die Sammlungen am Iwalewahaus mit ihren Artefakten von hoher wissenschaftlicher und kultureller Bedeutung in einer Datenbank detailliert zu dokumentieren. Strukturierte Metadaten geben dabei Auskunft über formale und inhaltliche Eigenschaften, digitale Fotografien machen Besonderheiten der künstlerischen Gestaltung und der zugrunde liegenden Materialien sichtbar.

Ein weiterer künstlerischer Schatz im Iwalewahaus ist das Musikarchiv. Es enthält analoge Tonträger wie Langspielplatten, Singles, Musikkassetten und Tonbänder, aber auch Notenmaterial und Schriftdokumente. Die Sammlung ist aus der Intention entstanden, die Entwicklung moderner Stilrichtungen in Afrika zu dokumentieren, und umfasst daher vor allem Werke afrikanischer Interpreten und Komponisten seit Mitte des 20. Jahrhunderts. Werke aus anderen Regionen, insbesondere aus Indien und Ozeanien, sind in das Archiv integriert. DEVA erschließt diese Bestände und macht sie damit in systematischer Form der Forschung zugänglich.

### AUTORIN



Sigrid Horsch-Albert ist Sammlungskustodin im Iwalewahaus und stellvertretende Leiterin von DEVA.

Abb. 1: Die mehrfarbige Wachsbatik von Susanne Wenger stellt den in Nigeria verehrten Schöpfergott Obatala dar (ohne Jahresangabe). Foto: DEVA.





Abb. 2: Gora M'Bengue aus dem Senegal zählt zu den bedeutendsten Vertretern der afrikanischen Hinterglasmalerei. Das 1987 entstandene Bild stellt den in westafrikanischen Regionen verehrten Wassergeist Mamy Wata dar (Foto: DEVA).



Abb. 3: Junge Bata-Trommler, die 1963 den von Ulli Beier initiierten Mbari Mbayo Workshop für Malerei und Druckgrafik in Oshogbo, Nigeria, besuchen (Foto: Aus dem Nachlass Beier).

Abb. 4 (rechts): Tonbänder im Musikarchiv von CRTV (Foto: Sarah Böllinger).

Die Sammlungen im Iwalewahaus wachsen stetig an, nicht zuletzt aufgrund von Schenkungen, Stiftungen und Dauerleihgaben. Den Grundstock – und zugleich einen Höhepunkt – bildet die Privatsammlung, die der Gründer und erste Leiter am Iwalewahaus, Ulli Beier, in den 1950er und 60er Jahren in Nigeria zusammengetragen hat. Sein Nachlass und der Vorlass von Georgina Beier enthalten ein breites Spektrum an Fotos, audiovisuellen Medien, Dokumenten und Veröffentlichungen, außerdem Kunstwerke und Publikationen. Alle diese Bestände werden von der Universität Bayreuth in Kooperation mit dem Centre for Black Culture and International Understanding (CBCIU) in Oshogbo, Nigeria, betreut. DEVA hat damit begonnen, das umfangreiche und in wesentlichen Teilen noch nicht publizierte Material in digitaler Form aufzubereiten.

### ARTISTS IN RESIDENCE

Von besonderer Bedeutung für das Iwalewahaus ist das „Artists in Residence“-Programm. Die ein-

geladenen Künstlerinnen und Künstler nutzen das Archiv und die Sammlungen als Quelle der Inspiration und künstlerischen Reflexion. Die digitale Dokumentation, wie sie von DEVA vorangetrieben wird, erleichtert dabei gezielte Recherchen. Auf diese Weise legt die Digitalisierung der Bestände auch einen Grundstein für deren kritische Neuauslotung: entsprechend dem Dreiklang „Archiv – Labor – Utopie“, in dem das Iwalewahaus sein künstlerisches und wissenschaftliches Profil zum Ausdruck bringt.

### EIN PROJEKT ZUR BEWAHRUNG DES MUSIKALISCHEN ERBES KAMERUNS

Ein umfangreiches Kooperationsprojekt war die Digitalisierung von annähernd 10.000 Musikaufnahmen, die in den Archiven der staatlichen Rundfunkanstalt von Kamerun (Cameroon Radio and Television, CRTV) aufbewahrt sind. DEVA arbeitete dabei nicht nur mit den Fachleuten bei CRTV, sondern auch mit dem Goethe-Institut und mit der Deutschen Botschaft in der kamerunischen Hauptstadt Jaunde eng zusammen.

Bei den rund 1.300 analogen Tonträgern, auf denen die musikalischen Schätze gespeichert sind, handelt es sich größtenteils um Spulentonbänder, zerbrechliche Schellackplatten und Vinylplatten. Die Bestände decken die Zeit von den 1950er bis in die 1990er Jahre ab. In mehreren tausend Stunden Klängen ist hier das musikalische Erbe der modernen Musik Kameruns gespeichert. Die sehr unterschiedlichen Musikstile spiegeln dabei die kulturelle Vielfalt des Landes wider, in dem neben den Amtssprachen rund 230 Lokalsprachen und Dialekte gesprochen werden. Für viele Sängerinnen und Sänger, Musiker und Orchester sind die beim CRTV aufbewahrten Tondokumente oft die einzigen existierenden Aufnahmen.





Die jahrzehntelange Lagerung in nicht-klimatisierten Räumen und das tropische Klima haben den Zustand der analogen Tonträger teilweise erheblich beeinträchtigt. Daher war die Digitalisierung der einzige Weg, um die historischen Musikdokumente – ein Zeugnis der kulturellen Geschichte Kameruns – für nachfolgende Generationen zu erhalten. Im Januar 2015 konnte das Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. So ist der Rundfunk in Kamerun heute in der Lage, längst vergessene Lieder wieder in sein Programm aufzunehmen. Die Öffentlichkeit des Landes erhält damit erstmals Zugang zu einem bedeutenden Teil der eigenen Musikgeschichte. DEVA gewährleistet, dass alle digitalisierten Aufnahmen in Zukunft auf dem jeweils aktuellen Stand der Technik gesichert und gepflegt werden. Das Vorhaben wurde vom Auswärtigen Amt in Berlin aus seinem Kulturerhalt-Programm gefördert. Es zeigt beispielhaft, wie DEVA einen Beitrag zu den Zielen der 2005 verabschiedeten UNESCO-Konvention zum Schutz und zur Förderung der Vielfalt kultureller Ausdrucksformen leistet.



### Ein Projekt für das Hochschulmanagement

Vom Deutschen Akademischen Austausch Dienst (DAAD) gefördert, startete 2011 das Forschungsprojekt SEED (New ICT Strategies for the Enhancement of Higher Education Management). In

## DEVA – Struktur und Nutzung

- **Sammlungen Iwalewahaus:** Ausbau und Digitalisierung des Archivs zum Sondersammelgebiet zeitgenössische Kunst und populäre Kultur Afrikas.
- **Afrikastudien Bayreuth:** Aufnahme der Datenbestände der Lehrstühle und Forschungseinrichtungen des Bayreuther Afrikaschwerpunkts in ein eigenes Informationssystem.
- **Bildarchive und Nachlässe:** Bedeutende wissenschaftliche Bildarchive und Nachlässe von Wissenschaftlern, auch außerhalb der Universität Bayreuth, werden bearbeitet und zur Verfügung gestellt. Ebenso sind Sammlungen zu Reise-, Dokumentar- und Porträtfotografie enthalten.

Die Nutzung von Archiv und Sammlung ist nur nach Voranmeldung möglich. Dabei erleichtert ein kurzer Abriss des Forschungsvorhabens eine reibungslose und zügige Bearbeitung seitens DEVA, vor allem wenn Fristen eingehalten und Urheberrechte beachtet werden müssen.

- [www.deva.uni-bayreuth.de](http://www.deva.uni-bayreuth.de)

diesem Vorhaben wollen die Universität Bayreuth und die Moi Universität in Eldoret/Kenia ihr jeweiliges Hochschulmanagement mit innovativen Informations- und Kommunikationstechnologien unterstützen. Eine Besonderheit von SEED ist daher die fakultäts- und bereichsübergreifende Zusammenarbeit von Universitätsleitung, Angewandter Informatik und Afrikawissenschaften. Zudem sind auch die Rechenzentren und die Bibliotheken beider Universitäten in das Vorhaben einbezogen, das aus einer gemeinsamen Initiative von DEVA und der School of Arts and Social Sciences (SASS) an der Moi Universität entstanden ist.

### Ausblick

Die Universität Bayreuth behauptet derzeit mit ihren Afrikastudien eine Spitzenposition innerhalb der internationalen Forschung. Das Institut für Afrikastudien (IAS) bildet ein gemeinsames organisatorisches Dach für die Bayreuth International Graduate School of African Studies (BIGSAS), die Bayreuth Academy of Advanced African Studies (BA), das Iwalewahaus und für DEVA als zentrales Archiv und Datenbanksystem des Bayreuther Afrikaschwerpunkts. In Kooperation mit nationalen und internationalen Partnerinstitutionen wird DEVA seine Informationsplattform und breit gefächerten Datenbanken weiter ausbauen und so zugleich zur Erhaltung von gefährdetem Kulturgut beitragen.

Abb. 5 (links): Detail aus einer Grafik des angolanischen Künstlers Délio Jasse, der 2015 als Artist in Residence im Iwalewahaus gearbeitet hat (ohne Titel, Gelatine-Silberdruck, 2014) (Foto: DEVA).

Abb. 6: Im Frühjahr 2015 fand im Iwalewahaus eine kleine Ausstellung zu Ehren des südafrikanischen Schriftstellers Bloke Modisane statt, dessen Nachlass von DEVA digitalisiert wurde. Das Kunstwerk beruht auf einem Foto von Jürgen Schadeberg (Foto: Christian Wißler).





■ JOHANNA RIESS

# Digitalisierung als Zukunftsvision in Kenia

VOM MOBILEN GELDTRANSFER BIS ZUR TECHNO-UTOPIE

■ Entwurf eines Büro- und Handelszentrums in Konza City, der Vision einer neuen digitalen Stadt in Kenia (Grafik: © Konza Techno City).



**B**eim Stichwort „Digitalisierung“ denken die meisten Menschen hierzulande an die rasanten technologischen Fortschritte in den Ländern des globalen Nordens. Damit verbindet sich häufig die Vorstellung, die Länder des globalen Südens seien von dieser Entwicklung durch eine ‚digitale Kluft‘ abgekoppelt. Doch eine solche Aufteilung der Welt wird mehr und mehr in Frage gestellt – durch immer preisgünstigere Computergeräte und verbesserte mobile Technologien, aber auch durch die Verlagerung von Innovationszentren. In Kenia, dem wirtschaftlich stärksten Land in Ostafrika, lassen sich seit Beginn des 21. Jahrhunderts intensive Anstrengungen auf Seiten der Politik beobachten, für die kenianische Gesellschaft eine digitale Zukunftsvision zu entwickeln.

### GESCHICHTLICHE ASPEKTE

Anfänglich waren es in Kenia vor allem Entwicklungshilfeorganisationen und einzelne Ministerien, die Zugang zu Computern hatten. Doch seit Mitte der 1990er Jahre entstanden öffentliche Internetcafés und Computerlabs in Schulen, so dass sich die Computer- und Internetnutzung auch in der Bevölkerung verbreitete. Allerdings vertrat die Regierung unter Staatspräsident Daniel Arap Moi (1978-2002) eine klare Anti-Computer-Haltung. Man befürchtete Arbeitsplatzverluste durch Computerisierung, Online-Kriminalität und Pornografie. Die Import-Zölle waren so hoch, dass sich kaum ein Privathaushalt einen Computer leisten konnte.

Erst unter Staatspräsident Mwai Kibaki (2002-2013) begann sich diese Anti-Haltung gegenüber digitalen Technologien grundsätzlich zu verändern. Die von seiner Regierung entwickelte *Vision 2030* war ein Plan zur Wohlstandsentwicklung mit dem Ziel, Kenia bis 2030 in ein „Middle-Income-Country“ zu verwandeln. Die *Vision 2030* kann als Utopie einer neuen, sicheren, sauberen und – vor allem in ökonomischer Hinsicht – besseren kenianischen Gesellschaft verstanden werden. Die Digitalisierung der kenianischen Gesellschaft war Teil dieser Utopie und wurde zugleich als Wegbereiter dieser Entwicklung verstanden. Die Phase der Industrialisierung sollte übersprungen werden, um durch digitale Technologien neue Möglichkeiten der Wohlstandsgewinnung zu eröffnen. Als Vorbilder galten dabei Länder wie Indien, Costa Rica oder Mauritius.



Abb. 1: Im Straßenbild Nairobis immer präsent: M-pesa (Foto: Johanna Rieß).

### M-PESA: EINE KENIANISCHE INNOVATION

Warum setzte die Regierung Kibaki so entschieden auf das Potenzial einer ‚digitalisierten Gesellschaft‘? Ein wesentlicher Grund waren die Erfolge, die Mobilfunkfirmen wie Safaricom und Celtel zu diesem Zeitpunkt bereits in Kenia zu verzeichnen



„DIE IDEE DES ‚BEING DIGITAL‘ WURDE ZU EINER NEUEN IDENTIFIKATIONSMÖGLICHKEIT FÜR JÜNGERE GENERATIONEN.“

hatten. Als Safaricom im Jahr 2007 das mobile bargeldlose Bezahlsystem M-pesa auf den Markt brachte, gewann die digitale Erfolgsstory in Kenia weiter an Fahrt. Die Wortschöpfung „M-pesa“ setzt sich zusammen aus „M“ für Mobil und „pesa“,

Abb. 2: Schriftzug vor einem Wohnbezirk in Nairobi (Foto: Johanna Rieß).



Abb. 3 (rechts): „Digital“ – Ausdruck eines fortschrittlichen Lebensgefühls im kenianischen Alltag (Foto: Johanna Rieß).

## AUTORIN



Johanna Rieß ist Junior Fellow der Bayreuth International Graduate School of African Studies (BIGSAS) und arbeitet hier an einer Dissertation über Internet- und Computeraneignung in Kenia. Insgesamt zehn Monate lang hat sie bei Feldforschungen in Nairobi eine Vielzahl von Kontakten geknüpft.

dem Swahili-Wort für Bargeld. M-pesa ist ein System, das über Mobiltelefone einen bargeldlosen Zahlungsverkehr und Geldtransfer ermöglicht. Ein eigenes Bankkonto ist dafür keine notwendige Voraussetzung. Jeder Nutzer kann bei einem M-pesa-Händler Geld auf das Handy einzahlen. Dieses Guthaben kann dann nach Belieben zum Einkaufen in Supermärkten oder zum Bezahlen von Rechnungen verwendet oder auch auf Handys von Freunden und Verwandten weitergeleitet werden.

In nur wenigen Jahren ist in Kenia ein landesweites dichtes Netz von M-pesa-Händlern entstanden. Viele Supermärkte, Straßenkioske, Internet-Cafés und Tankstellen besitzen M-pesa Lizenzen des Mobilfunkanbieters Safaricom. So wird der M-pesa Service fast flächendeckend in ganz Kenia angeboten. Viele Menschen in Kenia bezahlen auf diesem Weg fast alle ihre anfallenden Rechnungen, wie zum Beispiel für den Wasser- oder Stromverbrauch. Safaricom – heute die größte kenianische Mobilfunkgesellschaft – erklärte 2014, dass es in Kenia 19,3 Millionen M-pesa-Nutzer gebe. Dies sind 45 Prozent der rund 43 Millionen Einwohner des Landes.<sup>1</sup> Nach Angaben der kenianischen Zentralbank entsprach die Summe aller Geldbeträge, die zwischen Juni 2013 und Juni 2014 per M-pesa transferiert wurden, 39 Prozent des kenianischen Bruttoinlandsprodukts.<sup>2</sup>

## DAS DIGITALE IM POLITISCHEN

Während des Präsidentschaftswahlkampfes 2013, als Mwai Kibaki nicht wieder kandidierte, gewann



sondern wurde geradezu als Inbegriff eines gesellschaftlichen Lebensstils propagiert. „Being digital“ lautete das Schlagwort. Präsidentschaftskandidat Uhuru Kenyatta, der Sohn des ersten kenianischen Staatspräsidenten Jomo Kenyatta (1964-1978), und sein politischer Mitstreiter William Ruto von der Partei „The National Alliance (TNA)“ präsentierten sich während des Wahlkampfes als „The Digital Team“. Um das darin ausgedrückte Versprechen einer Politik der Digitalisierung polemisch zuzuspitzen, wurde das Team des politischen Gegners Raila Odinga – er gehört dem Orange Democratic Movement (ODM) an – als „analogue team“ betitelt. Alle Kandidaten, die sich 2013 um das Amt des Staatspräsidenten bewarben, hatten einen Facebook Account.<sup>3</sup>

Nachdem Uhuru Kenyatta und sein „Digital Team“ gewählt worden waren, nutzten sie Facebook und Twitter, um weiterhin über ihre politischen Aktivitäten zu berichten. So wurde die neue Regierung von vielen als wirklich *digital* wahrgenommen – nicht nur in technischer Hinsicht, sondern auch im Sinne eines avancierten politischen Stils. Es kam dem neu gewählten Staatsoberhaupt dabei zugute, dass er der jüngste Präsident Kenias war, seit sein Vater das Land in die Unabhängigkeit geführt hatte. Bisher ist es ihm nicht gelungen, allen Wahlkampfankündigungen gerecht zu werden. Doch wurde die Idee des „being digital“ zu einer neuen Identifikationsmöglichkeit für jüngere Generationen, die darin weiterhin ein Versprechen für eine andere, bessere Zukunft sehen.

Abb. 4: Wahlwerbung der Partei „The National Alliance“ im Präsidentschaftswahlkampf 2013, z.v.l.: Uhuru Kenyatta (Foto: Johanna Rieß).



die Idee der „Digitalisierung“ der kenianischen Gesellschaft eine erneute Schubkraft. Sie hatte dabei längst nicht mehr eine rein technische Bedeutung,

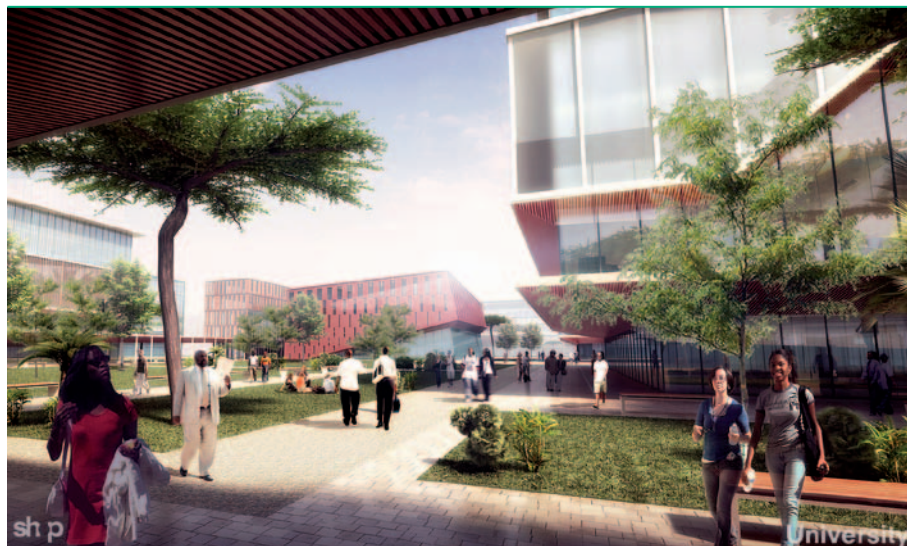


## E-GOVERNANCE GEGEN KORRUPTION UND FÜR MEHR SERVICE

Ein zentrales Problem in Kenia ist die weitverbreitete Korruption im Bereich der Regierungsservices, zum Beispiel in Verwaltungseinrichtungen oder bei der Polizei. Die Regierung verfolgt daher die Idee der E-Governance. Dadurch will sie einerseits die Korruption im öffentlichen Sektor zurückdrängen und andererseits den Bürgern mehr Service in kürzerer Zeit bieten. Von zentraler Bedeutung sind dabei öffentliche Zentren, die mit dem Swahili-Wort für „Service“ als „Huduma Centers“ bezeichnet werden.<sup>4</sup>



Diese Zentren fassen Services verschiedenster Regierungsstellen, die sich in der Regel auf räumlich weit verstreute Gebäude verteilen, unter einem Dach zusammen. Dazu zählen beispielsweise Anträge auf Geburtsurkunden, Führerscheine oder Personalausweise. Die Antragsteller können den Status ihrer Anträge über ihre Handys nachverfolgen; manche Anträge können sogar vollständig online gestellt werden. Die Huduma Centers sollen andere öffentliche Servicebüros der Regierung nicht ersetzen, aber ergänzen. Nach anfänglichen Schwierigkeiten scheinen sie jetzt gut funktionierende Dienstleistungen anzubieten und wurden bereits mit mehreren internationalen Preisen ausgezeichnet.



## KONZA CITY: EINE STADT DER ZUKUNFT

Das größte technoutopische Projekt zur Digitalisierung der kenianischen Gesellschaft ist „Konza City“ – ein Projekt, das von der Regierung unter Staatspräsident Kibaki konzipiert wurde. 60 Kilometer südlich von Nairobi sollte auf mehr als 20.000 Quadratkilometern eine ganz neue Stadt entstehen: eine afrikanische/kenianische Antwort auf das Silicon Valley in Kalifornien. „Silicon Savannah“ sollte 200.000 Arbeitsplätze schaffen und ein ökonomischer Motor für eine von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien geprägte Stadt mit hohem Lebensstandard sein.<sup>5</sup> Die kenianische Regierung verstand sich in erster Linie als Ermöglicher dieser Vision und sah ihre Zuständigkeit darin, für die nötige Infrastruktur wie Straßen, Wasserleitungen, Strom und einen Schnellgeschwindigkeitszug zu sorgen. Konza City selbst sollte jedoch vorrangig von privaten Investoren errichtet werden.

Mit einer feierlichen Grundsteinlegung wurde das Konza City-Projekt im Januar 2013 von Mwai Kibaki eröffnet. Doch wenig später endete seine Amtszeit. Seitdem hat sich auf dem Gelände von Konza City nichts mehr getan. Es bleibt abzuwarten, ob die Regierung unter Uhuru Kenyatta das Großprojekt in die Tat umsetzen wird. In jeden Fall bleibt Konza City ein starkes Signal für den politischen Willen, die kenianische Gesellschaft neu zu gestalten. Als techno-utopisches Flaggschiff einer digitalen Vision für Kenia steht das Projekt für den Versuch, dem Land eine Zukunft zu eröffnen, die nicht vom Streben nach Industrialisierung geprägt ist, sondern auf Information und Wissen basiert.

Abb. 6: Entwurf eines Universitätscampus in Konza City (Grafik: © Konza Techno City).

### LINKTIPPS

Homepage des Konza City-Projekts:

- [www.konzacity.go.ke](http://www.konzacity.go.ke)

Homepage der Huduma Centers:

- [www.hudumakenya.go.ke](http://www.hudumakenya.go.ke)

Abb. 5 (links): Vor einem Haduma Center in Nairobi (Foto: Johanna Rieß).


- 1 [www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/01-Nodes\\_Uebersichtsseiten/Kenia\\_node.html](http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/01-Nodes_Uebersichtsseiten/Kenia_node.html), aufgerufen am 19.11.2015.
- 2 Siehe dazu den von Anja Bengelstorf auf der Homepage von „Credit Suisse“ am 5. August 2015 veröffentlichten Beitrag „A Global Success from Kenya“: [www.credit-suisse.com/ch/en/news-and-expertise/banking/articles/news-and-expertise/2015/08/en/a-global-success-from-kenya.html](http://www.credit-suisse.com/ch/en/news-and-expertise/banking/articles/news-and-expertise/2015/08/en/a-global-success-from-kenya.html), aufgerufen am 19.11.2015.
- 3 Die Intensität der Nutzung variierte stark unter den Präsidentschaftskandidaten. Maratha Karua von der National Rainbow Coalition (NARC), die erste weibliche Präsidentschaftskandidatin Kenias, veröffentlichte als erste unter den Bewerbern ein eigenes Profil auf Facebook.
- 4 Vgl. den Bericht vom 7. November 2013 über die Eröffnung des ersten Huduma Centers durch Präsident Kenyatta: [www.kenyaweeeklypost.com/modules.php?name=News&file=article&sid=4300](http://www.kenyaweeeklypost.com/modules.php?name=News&file=article&sid=4300), aufgerufen am 19.11.2015.
- 5 Vgl. den Artikel von Präsident Mwai Kibaki: Why I believe in Konza Technology City, in der kenianischen Tageszeitung „The Standard“ am 25. Januar 2003.



**FORSCHUNGSTRANSFER**

# Aus der Forschung in die Praxis

PROJEKTBEISPIELE:  
DIE UNIVERSITÄT BAYREUTH  
ALS PARTNER VON WIRTSCHAFT  
UND GESELLSCHAFT

 Das in Bayreuth entwickelte Simulationsprogramm Z88Aurora® macht es neben vielen anderen Anwendungen möglich, die Eigenschwingungen großer Brücken im voraus zu berechnen. Hier die Ponte Vasco da Gama in Lissabon (Foto: sst).



TORSTEN EYMANN

## Sichere Geschäftsprozesse in Unternehmen

Das Betriebswirtschaftliche Forschungszentrum für Fragen der mittelständischen Wirtschaft e.V. an der Universität Bayreuth (BF/M) will kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) dabei unterstützen, die Chancen der Digitalisierung für ihre Geschäftsprozesse optimal zu nutzen. Diesem Ziel dienen nicht nur zahlreiche Vorträge und Tagungen, sondern auch das Projekt „GESINE – Geschäftsprozess-Sicherheit zur Verstärkung des Einsatzes von eBusiness-Standards“. Es wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen seines Schwerpunkts „Mittelstand-Digital“ gefördert. Das BF/M kooperiert darin mit der IIG Telematik der Universität Freiburg und der AristaFlow GmbH.

eBusiness-Standards („eStandards“) sind die gemeinsame Sprache im elektronischen Geschäftsverkehr. Sie ermöglichen eine effiziente Vernetzung und einen automatisierten Austausch von Daten in und zwischen Unternehmen sowie mit der Öffentlichen Verwaltung.

Elektronisches Geschäftsprozess-Management ist daher für KMU ein entscheidender Wettbewerbsfaktor bei der Kooperation mit Partnern, Kunden und staatlichen Institutionen. GESINE will diese Unternehmen deshalb in die Lage versetzen, die Sicherheitserfordernisse richtig einzuschätzen, die für sie mit dem Einsatz von E-Business-Standards und Cloud Computing verbunden sind. Ein neues Schulungs- und Beratungskonzept verdeutlicht die Einzelschritte, die zum sicheren und erfolgreichen Einsatz dieser Technologien führen. Das Konzept soll von einem „eBusiness-Demonstrator“ unterstützt werden: einer Software, die alle diese Schritte erfasst, optimiert und in den Geschäftsablauf integriert. So treten die zahlreichen Vorteile zutage, die auch für KMU aus elektronischen Geschäftsprozess-Systemen resultieren können – zum Beispiel neue Möglichkeiten, Geschäftsprozesse auf Sicherheitsmängel hin zu überprüfen, die Einhaltung von eStandards zu gewährleisten und die Kostensicherheit im Unternehmen zu erhöhen.

AUTOR



Prof. Dr. Torsten Eymann, Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik an der Universität Bayreuth, ist Leiter des Projekts GESINE.

FRANK RIEG

## Computersimulationen für die Ingenieurskunst

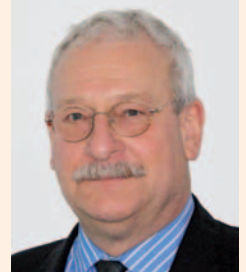
Die Finite-Elemente-Analyse (FEA) ist heute *das* Verfahren, wenn zum Beispiel für Automobile, Motorräder, Flugzeuge, Hochhäuser oder Brücken technische Komponenten benötigt werden, die hohen mechanischen Belastungen standhalten. Der Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD an der Universität Bayreuth hat dafür die FEA-Software Z88Aurora® entwickelt, die sie kostenlos im Internet anbietet. Namhafte Unternehmen wie Siemens, Porsche oder MAN waren als Partner in die Weiterentwicklung des Programms einbezogen, das mittlerweile in Industrie und Mittelstand fest etabliert ist. Neuerdings ist es sogar möglich, plastisches Materialverhalten exakt zu berechnen.

Aus Z88Aurora® ist das Simulationsprogramm Z88Arion hervorgegangen. Hiermit lässt sich präzise ermitteln, wie die Grundgestalt (Topologie) von Bauteilen optimiert werden sollte – insbesondere im Hinblick auf hohe Belastbarkeit, geringes Gewicht, Materialeinsparung und Energieeffizienz. So unterstützt das Programm vor allem auch kleine und mittelständische Betriebe dabei, ihre Produktivität in den Bereichen Entwicklung und Fertigung zu steigern. In der Luft- und Raumfahrttechnik, im Automobil- und Fahrzeugbau sowie in weiteren Branchen des Maschinenbaus stößt Z88Arion auf hohes Interesse. Es ist geplant, dass Unterneh-

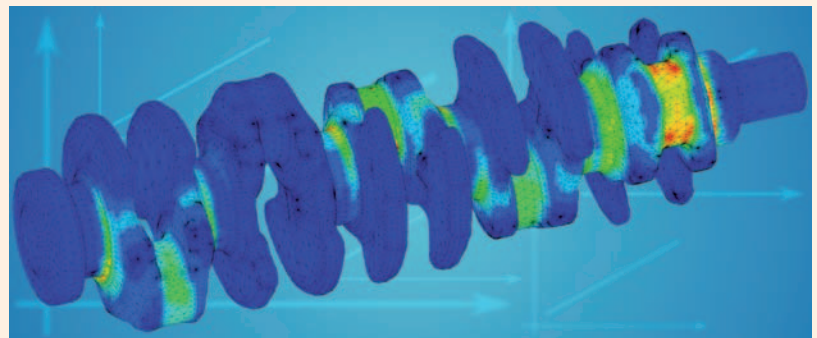
men, Hochschulen und Privatleuten bis Ende 2016 auf diese Software kostenlos im Internet zugreifen können. Sie wird dann im Freeware-Sektor weltweit konkurrenzlos sein.

Aufgrund der wachsenden Popularität von Smartphones und Tablets wurde vor kurzem das ebenfalls kostenlos erhältliche Z88Mobile ins Leben gerufen. Diese App für Android™ vereint die hohe Rechenleistung von Z88 mit einer benutzerfreundlichen grafischen Benutzeroberfläche, die jederzeit Zugriff auf die wichtigsten Simulationsergebnisse bietet.

AUTOR



Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg ist Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktionslehre und CAD an der Universität Bayreuth.



Berechnung einer Kurbelwelle mit Z88Aurora® (Grafik: Reinhard Hackenschmidt).

AUTOREN



Prof. Dr. Daniel Baier ist Inhaber des Lehrstuhls für Innovations- und Dialogmarketing an der Universität Bayreuth.



Alexander Sänn ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Innovations- und Dialogmarketing.

Grafik: Alexander Sänn.

DANIEL BAIER, ALEXANDER SÄNN

## Innovationsmanagement für die IT-Sicherheit

Das Management von Innovationen betrifft eine Vielzahl von Herausforderungen, wie beispielsweise

- die erste Sichtung aufkommender Trends,
- die konkrete Ausgestaltung eines Produkts oder einer Dienstleistung,
- die Überführung in ein marktreifes Angebot.

Dabei kommt es vor, dass neue Trends nicht direkt aufgrund von Kundenbedürfnissen entstehen, sondern vom Gesetzgeber ausgelöst werden. In den letzteren Bereich fällt die Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen (KRITIS). Sie ist eine der wichtigsten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und zur Aufrechterhaltung von Wirtschaft und Gesellschaft. KRITIS sind öffentliche und private Einrichtungen, die für alle Mitglieder einer Gesellschaft lebensnotwendig sind. Dazu zählen unter anderem die Infrastrukturen der Strom-, Gas- und Wasserversorgung.

Im Juni 2015 hat die Bundesnetzagentur, die für Deutschland zuständige Regulierungsbehörde im Bereich der Energieversorgung, das IT-Sicherheitsgesetz verabschiedet, bald darauf folgte der IT-Sicherheitskatalog. Dieser verpflichtet Strom- und Gasnetzbetreiber zur Umsetzung IT-sicherheitstechnischer Mindeststandards. Insbesondere ist jedes dieser Unternehmen aufgefordert, ein Informationssicherheits-Managementsystem (ISMS) zu etablieren. Hierbei handelt es sich in erster Linie um ein Führungssystem zum Schutz von sensiblen und wirtschaftlich wertvollen Informationen, die einen geschäftskritischen Unternehmenswert darstellen.

An dieser Stelle setzt ein neues Bayreuther Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Innovationsmanagements an.

Der Lehrstuhl für Innovations- und Dialogmarketing an der Universität Bayreuth untersucht, wie ein ISMS unter Aspekten der Nachhaltigkeit konkret ausgestaltet werden könnte und sollte. Projektpartner sind ein in der Branche führendes Unternehmen und eine Interessensgemeinschaft für Energieversorgungsunternehmen. Ein zentrales Thema sind Probleme, die im Zusammenhang mit Auditierungen entstehen – einerseits bei Beratungsgesellschaften, die als Auditoren fungieren, und andererseits bei Energieversorgern, die auf kompetente Unterstützung angewiesen sind, um Prozesse der Zertifizierung erfolgreich durchlaufen zu können. Hierfür werden die fortschrittlichsten Nutzer (*Lead User*) aus dem Bereich der IT-Sicherheit identifiziert, deren Präferenzen ermittelt und in die zukünftige Ausgestaltung mit einbezogen. Das Projekt zielt darauf ab, ein ISMS so zu modellieren, das es im Markt der Energieversorger auf breite Akzeptanz trifft – ohne dabei seine Wirksamkeit zu verlieren.

Die empirische Arbeit auf dem Gebiet der IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen reicht bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls, der 2014 von der BTU Cottbus an die Universität Bayreuth wechselte, bis in das Jahr 2009 zurück. Das IHP – Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik und der Lehrstuhl kooperierten beispielsweise im Projekt „Erweiterte Sicherheit für Kritische Infrastrukturen“, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Es ging darum, ein neuartiges „Intrusion-Prevention-System“ zu schaffen, welches auf die Erfordernisse von Industrieanlagen mit einer kritischen Infrastruktur zugeschnitten ist. Mit einem solchen System können nicht nur Schwachstellen bei der IT-Sicherheit entdeckt, sondern auch mögliche Angriffe frühzeitig erkannt und abgewehrt werden. Von Bayreuth aus werden diese Forschungsarbeiten fortgeführt.





■ PAUL RÖSCH, STEPHAN SCHWARZINGER

## Digitalisierte Lebensmittelqualität

„Qualität“ (lat. *qualitas*: Zusammensetzung, Merkmal) in der engeren, bewertenden Bedeutung des Wortes bedeutet Güte eines Objektes, eines Prozesses oder eines Systems. Bei komplexeren Systemen ist auch die Qualität der Einzelkomponenten und die Art der Zusammensetzung aus diesen Komponenten entscheidend, wenn es um die Gütebewertung und die Bewertung der Eigenschaften eines Produktes geht. Geeignete, weil leicht prüfbare und kommunizierbare Produkteigenschaften sind dabei solche, die sich digitalisieren, also in elektronisch speicherbare Zahlenwerte umsetzen lassen. Bei Lebensmitteln bieten sich zur Produktbeschreibung physikalische Messwerte an, beispielsweise pH-Wert, Absorptions-/Reflektionswellenlängen, Resonanzfrequenzen und Viskositäten. Die Beschreibung der Güte eines Lebensmittels ist natürlich um so eindeutiger und exakter, je mehr digitalisierte Messwerte hiervon bestimmt werden. Doch mit der Anzahl der zu bestimmenden Parameter steigen messtechnischer Aufwand und Kosten.

Genau hier zeigt sich die Überlegenheit fortgeschrittener spektroskopischer Techniken: Auch für Lebensmittel können in sehr kurzen und deshalb auch wirtschaftlich attraktiven Messungen viele charakteristische Werte gleichzeitig erfasst werden. Ein Alleinstellungsmerkmal hat dabei die magnetische Kernresonanzspektroskopie (NMR, *nuclear magnetic resonance*). In einer einzigen Messung werden Dutzende von Inhaltsstoffen bis zu ppm-Konzentrationen nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ digitalisierbar erfasst. Dadurch wird es möglich, die Güte eines Lebensmittels *mit nur einer Messung* umfassender zu bestimmen als je zuvor. Die durch die NMR einfach und schnell erreichte Beschreibung von Lebensmitteln erstreckt sich wegen der großen Zahl der erfassbaren Parameter auch auf Sorte, Sortenreinheit, Herstellungsprozess und Herkunft – also auf Eigenschaften, auf deren Kenntnis Konsumenten besonderen Wert legen.

Ein Paradebeispiel ist Honig: Mittels NMR-Spektroskopie lassen sich in einer Messung über 35 Inhaltsstoffe digitalisierbar erfassen. Indem mehrere tausend Proben bekannter Sorte und Herkunft analysiert werden, entsteht ein digitaler Abdruck, ein Fingerabdruck im wörtlichen Sinne (lat. *digitus*: Finger). Damit lässt sich nicht nur feststellen, ob gesetzlich vorgegebene Qualitätsanforderungen erfüllt sind, auch eine Prüfung in Bezug auf Sorte, Herkunft und Verfälschungen durch Zuckerzusatz ist möglich. Neben Inhaltsstoffen wie Sacchariden und Wasser, deren Konzentra-

tionen bei klassischen Verfahren zur Qualitätsbewertung herangezogen werden, erfassen NMR-Untersuchungen auch Inhaltsstoffe, die bisher nicht quantifiziert werden konnten, obwohl ihnen in diesem Zusammenhang große Bedeutung zukommt. Dabei ist meist nicht ein einzelner Inhaltsstoff für Sorte und/oder Herkunft charakteristisch, sondern typischerweise das Konzentrationsverhältnis mehrerer Stoffe. Mittlerweile lassen sich nicht allein für Honig, sondern auch für Fruchtsäfte und Weine NMR-basierte digitale Fingerabdrücke erstellen, mit denen Etikettenangaben am aktuellen Produkt überprüft werden können.

Die Grundlage dieser Güteprüfungen sind immer Vergleichsdatenbanken, die gegenwärtig für weitere Lebensmittel auch an der Universität Bayreuth eingerichtet werden. Hier ist das Forschungszentrum für Bio-Makromoleküle und dessen Ausgründung, die ALNuMed GmbH, damit befasst, digitale Produktfingerabdrücke und Parameterdatenbanken von Lebensmitteln und Naturstoffen zu erstellen – hauptsächlich mittels NMR-Spektroskopie. Mit hohem Forschungseinsatz werden Methoden zur Prüfung von Fleisch, Fisch, Olivenöl und anderen Lebensmitteln weiterentwickelt, neben der NMR auch Infrarot-spektroskopische Techniken für den mobilen Einsatz.

■ „Extra vergine“ entspricht der deutschen Qualitätsbezeichnung „Natives Olivenöl extra“. Das hochwertige Öl wird direkt aus Oliven ausschließlich mit mechanischen Verfahren ohne Wärmeeinwirkung (<40 °C) gewonnen (Grafik: ALNuMed GmbH).

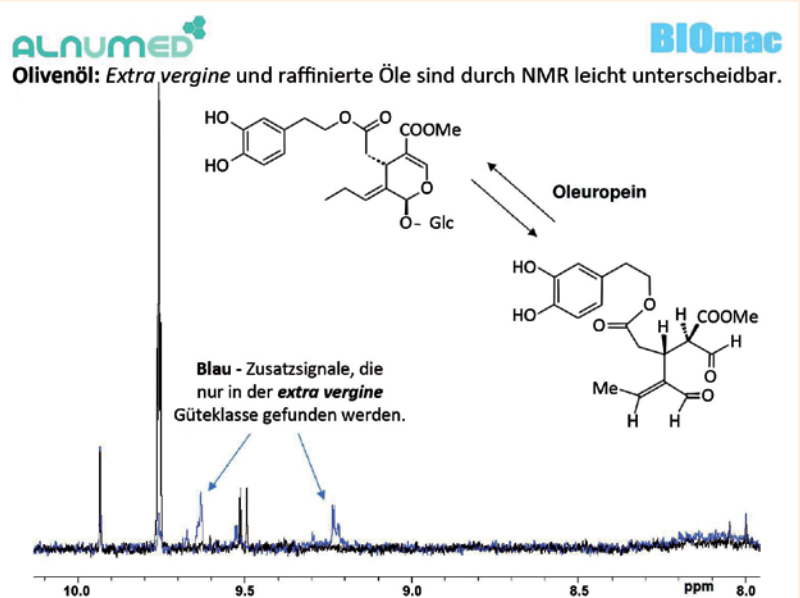
### AUTOREN



■ Prof. Dr. Paul Rösch ist Leiter des Forschungszentrums für Bio-Makromoleküle und Inhaber des Lehrstuhls Biopolymere an der Universität Bayreuth sowie Geschäftsführer der ALNuMed GmbH.



■ Prof. Dr. Stephan Schwarzinger ist Mitglied des Forschungszentrums für Bio-Makromoleküle und Geschäftsführer der ALNuMed GmbH.



AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper ist Inhaber des Lehrstuhls für Umweltgerechte Produktionstechnik an der Universität Bayreuth und Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe Regenerative Produktion.



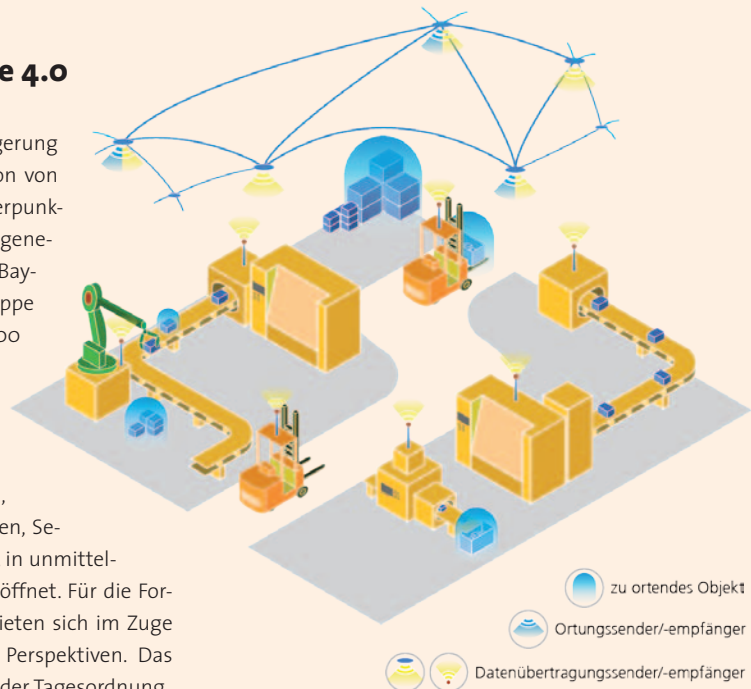
M.Eng. Fabian Joas ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik bei der Fraunhofer-Projektgruppe Regenerative Produktion.

■ ROLF STEINHILPER, FABIAN JOAS

**Forschung für die Industrie 4.0**

Nachhaltige Produktionstechnik, Steigerung der Energieeffizienz und die Produktion von Austauschteilen – dies sind die Schwerpunkte der Fraunhofer-Projektgruppe Regenerative Produktion an der Universität Bayreuth (auch: Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation). Für weit über 100 Unternehmen aus Industrie und Mittelstand hat sie bereits innovative Handlungsempfehlungen und Lösungsvorschläge erarbeitet. Im Sommer 2015 wurde ihr Neubau, der eine Vielzahl von Forschungslaboren, Seminar- und Konferenzräumen umfasst, in unmittelbarer Nähe des Universitätscampus eröffnet. Für die Forschungsvorhaben der Projektgruppe bieten sich im Zuge der Digitalen Revolution völlig neue Perspektiven. Das Zukunftsthema Industrie 4.0 steht auf der Tagesordnung.

Diese Entwicklung birgt ein enormes Potenzial. Entstehende „intelligente Fabriken“ (*smart factories*) vernetzen Produkte, Produktionsanlagen und Betriebsmittel miteinander. Sie offerieren Unternehmen neue Möglichkeiten für Herstellungsprozesse und Dienstleistungen. Um dieses Potenzial im vollen Umfang nutzen zu können, müssen Unternehmen jedoch noch zahlreiche Hindernisse überwinden – insbesondere die digitale Vernetzung der Produktionsumgebung. Bisher genutzte Verfahren der Datenübertragung stoßen in einem industriellen Umfeld schnell an ihre Grenzen. Denn kabelgebundene Lösungen



■ **Abb. 1: Modell einer Industrieanlage mit drahtloser Datenübertragung und Ortung für die Produktionsumgebung (Grafik: Fraunhofer-Projektgruppe Regenerative Produktion).**

erlauben nur eine geringe Flexibilität, was die Anordnung des Maschinenparks betrifft. Kabellose Lösungen wiederum sind störanfällig und somit für sensible Anwendungen wenig geeignet.

Die Fraunhofer-Projektgruppe Regenerative Produktion und der Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik entwickeln daher zusammen mit den Firmen lichtline und JUNG-Leuchten eine sichere, schnelle sowie drahtlose Datenübertragung und Ortung für die Produktionsumgebung. Der Vorteil dieses Systems: Die vorhandene Infrastruktur der Beleuchtung kann ohne zusätzlichen Installationsaufwand direkt genutzt werden, um eine Produktionsumgebung digital zu vernetzen und Produkte sowie Betriebsmittel zu orten. So können in Echtzeit die Produktionsdaten ausgewertet und die Position von Produkten und Betriebsmitteln ermittelt werden. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aus dem Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand gefördert und trägt den Namen „Innobel – Entwicklung einer innovativen Beleuchtungsanlage mit integrierter Datenübertragung und Ortung für industrielle Anwendungen innerhalb von Gebäuden.“

■ **Abb. 2: Neubau der Fraunhofer-Projektgruppe Regenerative Produktion in unmittelbarer Nähe des Universitätscampus (Foto: Christian Wißler).**





■ GILBERT FRIDGEN , MAXIMILIAN RÖGLINGER , SABIÖLLA HOSSEINI

## Digitale Transformation – Zukunft Realität werden lassen

„Digitalisierung“ beschreibt die zunehmende Durchdringung von Wirtschaft und Gesellschaft mit digitalen Technologien (wie etwa Social Media, Big Data, Clouds, Smart Devices, Internet der Dinge) sowie die damit verbundenen Änderungen hinsichtlich der Vernetzung von Individuen und deren Verhalten. Der damit einhergehende Innovations- und Technologiedruck erfordert ein Umdenken im großen Stil. Die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT an der Universität Bayreuth bündelt daher wissenschaftliches Know-how und Praxiserfahrung rund um das Thema Digitalisierung. Sie will dadurch sowohl Unternehmen als auch die Gesellschaft bei der Digitalen Transformation unterstützen.

### HERAUSFORDERUNGEN FÜR UNTERNEHMEN

Für Unternehmen bedeutet Digitale Transformation, bestehende Geschäfts- und Betriebsmodelle zielorientiert neu zu denken, um eine nachhaltige Wertschöpfung zu gewährleisten. Sie müssen im gesamten Wertschöpfungsnetz mit innovativen Lösungen auf Basis digitaler Technologien überzeugen. Zudem ist eine wertorientierte Steuerung von Transformationsprojekten unverzichtbar. Denn nur so ist sichergestellt, dass Unternehmen die richtigen Maßnahmen ergreifen und sich diese Maßnahmen positiv auf den Geschäftserfolg auswirken.

Erfahrungen aus bereits umgesetzten Digitalisierungsprojekten sowie Interviews und Workshops mit über 50

Unternehmensvertretern verschiedener Branchen (Automobilhersteller, Chemie, Energieversorgung, Gesundheitswesen, Informationstechnik und andere) bildeten für die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik die Grundlage, um Ansatzpunkte für die Digitale Transformation zu ermitteln. Im Zuge der Studie „Digitale Transformation – Changes and Chances“<sup>1</sup>, die zusammen mit dem Kernkompetenzentrum Finanz- & Informationsmanagement in Augsburg erarbeitet wurde, konnten sechs Handlungsfelder identifiziert werden, die den Erfolg der Digitalen Transformation maßgeblich beeinflussen: Kunde, Wertversprechen, Operatives Geschäft, Daten, Organisation und Transformationsmanagement. Zudem wurden konkrete Aktionsbereiche je Handlungsfeld bestimmt (vgl. Tabelle).

### ZUKUNFT DER STADT – STADT DER ZUKUNFT

Während in manchen Lebensbereichen digitale Technologien schon heute nicht mehr wegzudenken sind, sind andere Bereiche trotz hohen Potenzials noch weitestgehend von der Digitalisierung unberührt – wie beispielsweise die Weiterentwicklung von Städten. Im Rahmen des Wissenschaftsjahres 2015 zum Thema „Zukunftsstadt“ unterstützt die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik die alpine Gemeinde Bad Hindelang dabei, ihr digitales Zukunftskonzept 2030+ zu entwerfen. Derzeit werden gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern relevante Lebensbereiche identifiziert sowie Ideen und Verbesserungsvorschläge gesammelt. Das Projekt „Digitales Bad Hindelang“ – das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird – will eine ganzheitliche, bedarfsgerechte und bürgernahe digitale Lösung für die langfristigen Herausforderungen der Tourismusgemeinde entwickeln, umsetzen und dauerhaft in der Gemeinde verankern. Digitalisierung soll beispielsweise helfen, den Erhalt der Kulturlandschaft, die Energiewende, die Verbesserung der Freizeit- und Alltagsmobilität sowie innovative Gesundheits- und Freizeitangebote zu gewährleisten.

Kunde	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kundenverständnis</li> <li>■ Customer Experience Management</li> <li>■ Multi/Omni-Channel-Management</li> <li>■ Hybride Kundeninteraktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Datenintegration</li> <li>■ Advanced Analytics</li> <li>■ Dateneigentum &amp; Datenschutz</li> <li>■ Datensicherheit</li> </ul>
Wertversprechen	Organisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Smarte Produkte</li> <li>■ Smarte Dienstleistungen</li> <li>■ Individualisierung</li> <li>■ Digitale Ökosysteme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Organisationale Agilität</li> <li>■ Arbeitsplatz der Zukunft</li> <li>■ Digitaler Skillset</li> <li>■ Digitaler Mindset</li> </ul>
Operatives Geschäft	Transformationsmanagement
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Integrierte IT</li> <li>■ Flexibilität in den betrieblichen Abläufen</li> <li>■ Digitales Wertschöpfungsnetzwerk</li> <li>■ Digitale Produktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Digitale Strategie</li> <li>■ Transformational Leadership</li> <li>■ Change Management</li> <li>■ Digital Value Assistance</li> </ul>

■ Tabelle: Digitale Transformation erfordert von Unternehmen zielgerichtetes Handeln entlang von sechs Handlungsfeldern.

### AUTOREN

Alle drei Autoren sind Mitglieder der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT.



■ Prof. Dr. Gilbert Fridgen, Professor für Wirtschaftsinformatik und Nachhaltiges IT Management an der Universität Bayreuth.



■ Prof. Dr. Maximilian Röglinger, Professor für Wirtschaftsinformatik und Wertorientiertes Prozessmanagement an der Universität Bayreuth.



■ Sabiölla Hosseini, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Kernkompetenzentrum Finanz- & Informationsmanagement an der Universität Augsburg.



## INFORMATIK IN BAYREUTH

Blick ins Gebäude des Instituts für Informatik. Die Innenwände wurden von Karin Sander künstlerisch gestaltet. Das Zahlen- und Buchstabenwerk steht in engem Zusammenhang mit dem Neubau und mit der „Digitalen Revolution“. Mehr dazu auf der Rückseite dieser SPEKTRUM-Ausgabe (Foto: © Ingo Degenhart).

# Digitale Kompetenzen

## DAS INSTITUT FÜR INFORMATIK DER UNIVERSITÄT BAYREUTH

Profil	Studienangebote	Reine Informatik	Angewandte Informatik
Das Institut für Informatik an der Universität Bayreuth verbindet Reine Informatik mit einer Angewandten Informatik, die mit natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen eng verzahnt ist. Sie hat daher in Forschung und Lehre ein in Bayern einzigartiges Profil.	Bachelor-Studiengänge	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Informatik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bioinformatik</li> <li>■ Ingenieurinformatik</li> <li>■ Umweltinformatik</li> </ul>
	Master-Studiengänge	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Computer Science</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bioinformatik</li> <li>■ Ingenieurinformatik</li> <li>■ Umweltinformatik</li> </ul>
	Promotion	Computing Science – Promotionsprogramm in der Graduiertenschule BayNAT	



*Prof. Dr. Bernhard Westfechtel – Angewandte Informatik I*

**Software Engineering**

Die Arbeitsgruppe befasst sich in Forschung und Lehre mit dem Software Engineering. Dieses Gebiet der Informatik behandelt Prinzipien, Werkzeuge und Methoden zur systematischen Erstellung und Weiterentwicklung großer Programmsysteme über lange Zeiträume. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von Software mit Hilfe von Modellen, die schrittweise verfeinert und schließlich in ausführbare Programme übersetzt werden. Die praktische Bedeutung ist enorm, denn heutige Programmsysteme umfassen bis zu mehreren Millionen Zeilen Quelltext. Die eigentliche Programmierung ist nur ein Teil der Softwareentwicklung; hinzu kommen

- Projektmanagement
- Definition von Anforderungen (Requirements Engineering)
- Entwurf (Erstellung eines Bauplans für das Programmsystem)
- Qualitätssicherung (zum Beispiel Systematisches Testen)
- Konfigurationsmanagement und Dokumentation



*Prof. Dr. Thomas Rauber – Angewandte Informatik II*

**Parallele und Verteilte Systeme**

In der Forschung befasst sich die Arbeitsgruppe mit dem Entwurf und der Realisierung von parallelen und verteilten Systemen. Im Fokus stehen insbesondere die technische Umsetzung der Systeme, die Analyse der zugrunde liegenden Kommunikationshardware und die Entwicklung effizienter Kommunikationsbibliotheken für wissenschaftlich-technische Programme. Hardwareunterstützte Synchronisationsmechanismen unterstützen die Realisierung solcher Bibliotheken.

F&E-Projekte beziehen sich auf Simulatoren zur Analyse von Cachespeichern moderner Mikroprozessoren, hardware-synchronisierte Task-Bibliotheken und Netzwerkprotokolle für Softwaresysteme aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Schwerpunkte in der Lehre:

- |   |   |
|---|---|
| ■ Rechnerarchitektur und Rechnernetze             | ■ Programmierpraktika                             |
| ■ Programmierung innovativer Rechnerarchitekturen | ■ Praktika zur Netzwerk- und Systemprogrammierung |
| ■ Verteilte und Parallele Systeme                 |   |



*Prof. Dr. Dominik Henrich – Angewandte Informatik III*

**Robotik und Eingebettete Systeme**

Im Zentrum der Arbeitsgruppe stehen Roboter als informationsverarbeitende Systeme, die ihre Umwelt erfassen, verändern und mit ihr interagieren können. Ein Schwerpunkt ist die Koexistenz und Kooperation von Mensch und Roboter. Um die strikte räumliche Trennung aufzuheben und die Stärken von Mensch und Roboter synergistisch zu kombinieren, werden kamerabasierte Raumüberwachung, Kollisionserkennung, Bewegungsplanung und Intentionserkennung untersucht. Ein weiteres Forschungsgebiet ist die intuitive Programmierung von Robotern. Hier geht es darum, den hohen Programmieraufwand zu reduzieren, die Roboter auch Nicht-Experten zugänglich zu machen und damit die Anwendungsmöglichkeiten zu vergrößern. Besondere Forschungsthemen sind daher die einfache Sensorintegration, das Programmieren durch Vormachen sowie imperative und deklarative Programmierparadigmen.

Schwerpunkte in der Lehre:

- |                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| ■ Robotik       | ■ Mustererkennung      |
| ■ Computersehen | ■ Eingebettete Systeme |
|                 | ■ Betriebssysteme      |





*Prof. Dr.-Ing. Stefan Jablonski – Angewandte Informatik IV*

### **Datenbanken und Informationssysteme**

Entwurfs- und Modellierungsmethoden im Bereich datenbank- und prozessgestützter Informationssysteme bilden neben Cloud Computing die Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe.

Der Bereich Prozessmanagement befasst sich mit dem Entwurf, der Modellierung, der Umsetzung und der Analyse von Prozessen in unterschiedlichen Anwendungsgebieten. Besondere Herausforderungen betreffen

- die Adaption von Sprachen zur Modellierung und Ausführung von Prozessen an spezifische Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls
- die Einbindung vorhandener IT- und Organisationsstrukturen

Im Bereich des Cloud Computing konzentriert sich die Forschung der Arbeitsgruppe auf den Bereich der Virtuellen Arbeitsumgebungen. Die Übertragung von Ergebnissen in die Praxis ist dabei ein vorrangiges Ziel.

Schwerpunkte in der Lehre:

- Grundlagen von Datenbanken und Informationssystemen
- Prozessmanagement
- Management und Analyse großer Datenmengen
- Entwicklung webbasierter Informationssysteme



*Prof. Dr. Michael Guthe – Angewandte Informatik V*

### **Grafische Datenverarbeitung**

Die Arbeitsgruppe befasst sich mit allen Aspekten von Systemen, die visuelle Inhalte produzieren oder verarbeiten. Dabei geht es insbesondere um

- die effiziente Generierung photorealistischer Bilder, wie man sie aus aktuellen Animations- und Actionfilmen kennt
- die Modellierung komplexer virtueller Welten, ohne die heutige Computerspiele nicht denkbar wären

Darüber hinaus richtet sich das Forschungsinteresse auf Algorithmen zur Bild- und Videoverarbeitung, wie etwa im medizinischen Bereich und in der bildbasierten 3D-Rekonstruktion, die eine immer größere Rolle bei der Erzeugung von 3D-Modellen spielt. Weitere Themen sind möglichst natürliche Mensch-Computer-Interaktionen sowie computergenerierte Spezialeffekte und Computerspiele.

Schwerpunkte in der Lehre:

- Künstliche Intelligenz
- Computergraphik
- Multimediale Systeme
- Animation und Simulation





*Prof. Dr. Christian Knauer – Angewandte Informatik VI*

## Algorithmen und Datenstrukturen

Im Fokus stehen der Entwurf und die Analyse von Algorithmen und Datenstrukturen, speziell auf dem Gebiet der algorithmischen Geometrie, und deren Anwendungen in der geometrischen Mustererkennung. Ein weiteres Forschungsthema sind geometrische Netzwerke.

Neben der theoretischen Untersuchung algorithmischer Problemstellungen wird dabei auch die praktische Umsetzung der entwickelten Verfahren angestrebt, wie beispielsweise in der Mustererkennung oder der computerunterstützten Medizin. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Algorithm Engineering, also der Entwurf, die Analyse, die Implementierung und die experimentelle Bewertung von „praktikablen“ Algorithmen. Hierbei müssen vor allem realistische geometrische Eingabemodelle berücksichtigt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeitsgruppe ist die Untersuchung von Problemen der algorithmischen Geometrie. Dabei kommen Methoden der parametrisierten Komplexitätstheorie zum Einsatz.

Schwerpunkte in der Lehre:

- Algorithmische Geometrie
- Algorithmen und Datenstrukturen
- Compilerbau



*Prof. Dr. Wim Martens –  
Angewandte Informatik VII*

## Theoretische Informatik

Die Arbeitsgruppe befasst sich mit der Grundlagenforschung zur Verarbeitung von großen Datenmengen, zum Beispiel im Internet. Die immense Entwicklung, die das Internet allein in den letzten zehn Jahren durchlaufen hat, stellt an die klassischen Gebiete der Informatik – wie etwa an formale Sprachen, Logik oder Datenbanktheorie – neue Herausforderungen.

Bei der Erforschung dieser Grundlagen und ihrer Anwendungsperspektiven legt die Arbeitsgruppe Wert darauf, einen Bogen zwischen Theorie und Praxis zu spannen. Denn auf der einen Seite werden Fragen erforscht, die einen direkten Praxisbezug haben. Auf der anderen Seite werden auch kürzlich entwickelte Verfahren als Prototyp realisiert, und es wird verglichen, ob diese mit schon bestehender, etablierter Software konkurrieren können.

Schwerpunkte in der Lehre:

- Theoretische Informatik
- Logik
- Komplexität
- Grundlagen von Web-Informationssystemen
- Fortgeschrittene formale Sprachen





Karin Sander

## XML-SVG Code / Quellcode des Neubaus der Angewandten Informatik

Die künstlerische Arbeit von Karin Sander macht die zur Darstellung und Konstruktion der Architektur verwendeten Daten des Neubaus in seinen Zahlen und Zeichensystemen als ausgeschriebenen Quellcode sichtbar. Damit wird die gesamte architektonische Außenform des Gebäudes als XML-SVG Code auf den Wänden im Eingangsfoyer der Angewandten Informatik dargestellt, genau in den Zahlensystemen, die einem Architektorentwurf zu Grunde liegen. Würde man all diese Zahlen des Quellcodes in das System eingeben, würde wieder der architektonische Körper als 3-dimensionales Bild entstehen.

Ausführung: 2K-Werbetechnik, Höchstädt, 2008.

Foto: © Ingo Degenhart.

