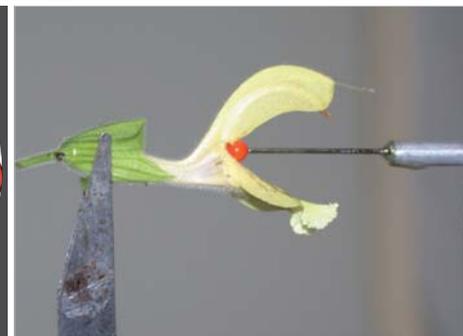
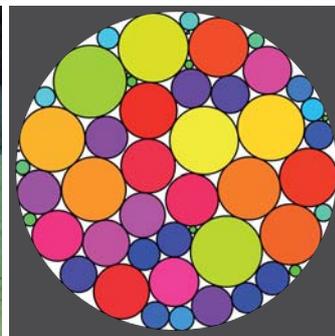
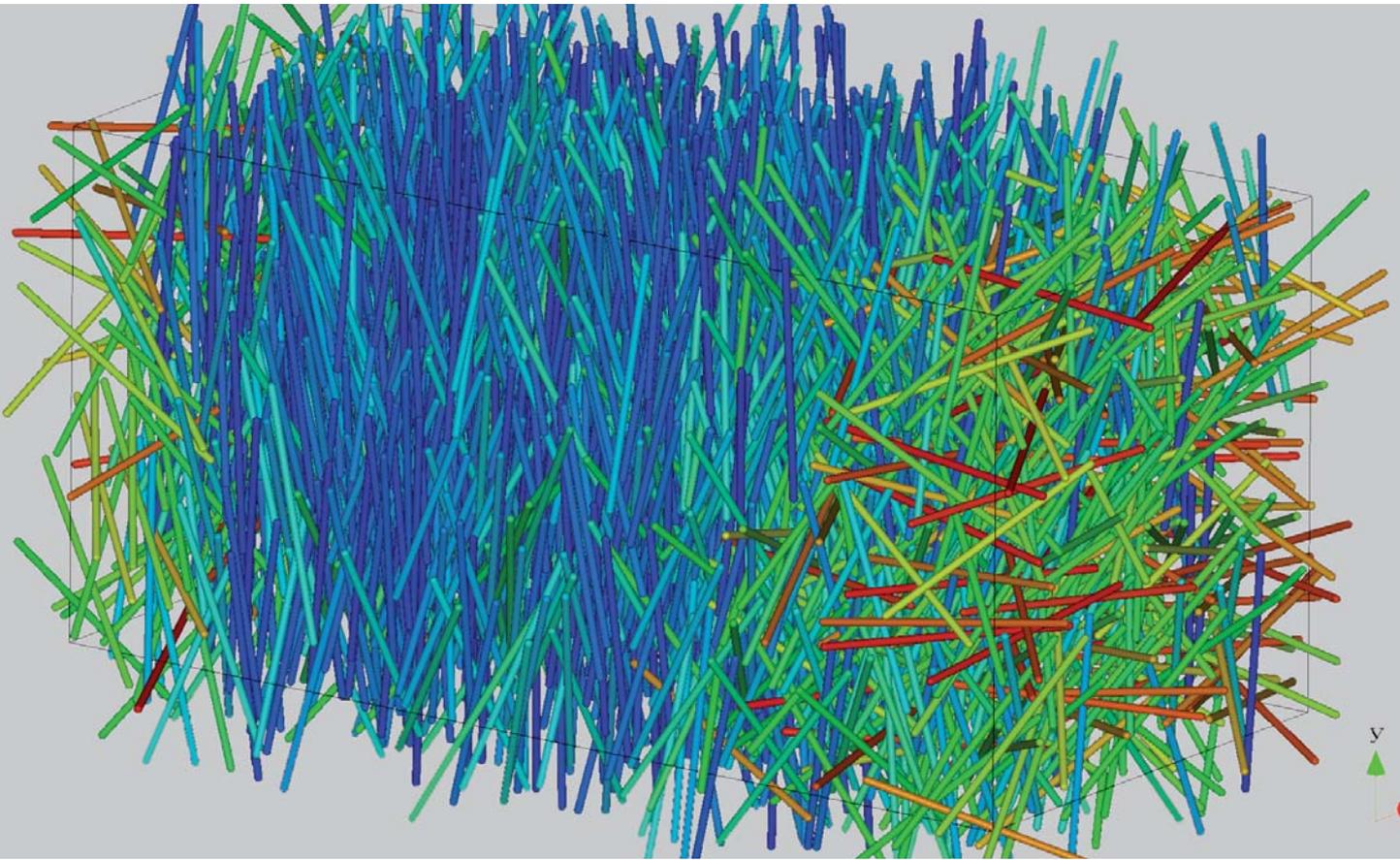


NATUR & GEIST

Das **FORSCHUNGSMAGAZIN** der Johannes Gutenberg-Universität Mainz



2/2009 25. Jahrgang

ISBN 0178-4757 Preis 4 Euro



JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ

Computer bestimmen unser tägliches Leben; Information, Kommunikation, Simulation, komplexe Grafik – all das leisten moderne Rechner, und wir haben uns daran gewöhnt. Aber auch aus der Forschung sind Computer nicht mehr wegzudenken. Dieser Thematik ist ein großer Teil der vorliegenden Ausgabe des Forschungsmagazins unserer Universität gewidmet. Neben den klassischen Bereichen Theorie und Experiment entwickeln sich die Computersimulationen zu einem dritten Standbein naturwissenschaftlicher Forschung. Da die Komplexität der Zusammenhänge, zum Beispiel in der Meteorologie, in der Genomforschung oder bei der Wechselwirkung einzelner Moleküle, nicht immer mit einem Versuchsaufbau abgebildet werden kann, greift moderne naturwissenschaftliche Forschung vermehrt auf Simulationstechniken der Informatik und Mathematik zurück. Rechnergestützte Forschung findet sich in den verschiedensten Bereichen: Physik, Chemie, Materialwissenschaften, Geowissenschaften und Biologie; keine Natur- oder Ingenieurwissenschaft kommt heute mehr ohne Computer aus.

Der Wunsch nach immer realistischerer Computergrafik hat zur rasanten Entwicklung immer leistungsfähigerer Grafikkarten geführt. Deren schnelle Prozessoren lassen sich für die Forschung „zweckentfremden“, in leistungsfähigen Großrechnern „poolen“ und für Materialforschung oder auch Simulation von Kernkräften innerhalb eines Atomkerns einsetzen. Auch andere komplexe Systeme der statistischen Physik lassen sich durch Simulation auf Computersystemen im Detail studieren. Die Quantenchemie setzt Computer ein, um Eigenschaften von Molekülen zu berechnen und vorherzusagen. Auch die Meteorologie und Klimaforschung benötigt Rechnerkapazitäten, um etwa die Ausbreitung von Staub oder Radioaktivitätswolken in der Atmosphäre zu prognostizieren. Schließlich liefert die moderne Biologie ungeheure Datenmengen, die ohne Rechner schlechthin nicht zu bewältigen sind. Erforderte die Sequenzierung des menschlichen Genoms noch vor wenigen Jahren einen mehrere Milliarden Euro teuren Multicenteransatz und über fünf Jahre Arbeit, so lässt sich die gleiche Arbeit heute für zirka 10.000 Euro auf einer einzigen Maschine in ungefähr zwei Wochen erledigen. Es versteht sich von selbst, dass die so produzierten riesigen Datenmengen ohne massiven Einsatz von Informatik nicht zu bewältigen sind.

Auch im nicht themenzentrierten Teil unseres Forschungsmagazins finden sich sehr lesenswerte Beiträge Mainzer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. So berichtet die Hochschule für Musik über eine Auftragskomposition des US-amerikanischen Komponisten Thomas Wells zur Einweihung ihres (sehr attraktiven) Neubaus. Aus der Theologie findet sich ein Artikel zum Thema „Religion und Frieden.“ Hier wird die These des US-amerikanischen

Privat

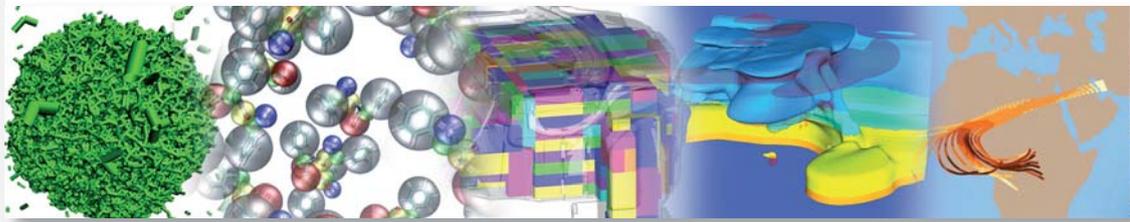


Univ.-Prof. Dr. Ulrich Förstermann
Vizepräsident für Forschung

Politologen Samuel Huntington diskutiert, „nach Ende des Kalten Krieges würden Konflikte nun zwischen den Kulturen ausgetragen und Religionen seien ein prägendes Merkmal eben dieser verschiedenen Kulturen.“ Aus dem Fachbereich Recht und Wirtschaftswissenschaften lesen Sie die Beschreibung des gemeinsam mit der Universität Trier verfolgten Schwerpunktprojektes „Armut und Überschuldung privater Haushalte.“ – ein sehr aktuelles Thema. Die Universitätsmedizin liefert einen interessanten Artikel über die Versorgung Gehörloser in Deutschland – immerhin eine Zahl von etwa 270.000 Mitbürgern. Schließlich zeigen uns die Sprachwissenschaften den Unterschied zwischen Silben- und Wortsprachen auf und es gibt einen Beitrag zum britischen Film, der als integraler Teil des dortigen nationalen Kulturgutes gilt. Aus dem Bereich Geschichte kommt ein Bericht über ein DFG-Forschungsprojekt zum Wertewandel vom Ende des 19. Jahrhunderts bis heute. Die Geowissenschaften legen eindrucksvoll dar, welche Informationen zu Umwelt und Klima in verschiedenen Epochen der Erdgeschichte man aus Muschelfunden entnehmen kann. Und schließlich wird im Beitrag aus der Biologie die Evolution erläutert – am Beispiel der Salbeipflanze.

So zeigt auch das neueste Forschungsmagazin wieder die große wissenschaftliche Breite und Vielfalt unserer Universität. Ich habe beim Lesen viel über neue Entwicklungen in der Arbeit unserer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gelernt. Als neuer Vizepräsident für Forschung darf ich Ihnen die Lektüre dieses interessanten Spiegels unserer Hochschule wärmstens „ans Herz legen“.

Ihr



Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften

6 EINFÜHRUNG

Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften

Von Martin Hanke-Bourgeois

8 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – MATERIALSIMULATIONEN

Simulationen auf Grafikkarten: vom Videospiel zur Materialforschung

Von Martin Oettel und Peter Virnau

11 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – COMPUTERSIMULATIONEN

Der Komplexität auf den Grund gehen

Von Martin Weigel und Tanja Schilling

14 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – POLYMERSIMULATIONEN

Multiskalensimulationen in der Materialwissenschaft

Von Christine Peter und Kurt Kremer

18 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – COMPUTERTECHNIK

Kernkräfte als Videospiel

Von Hartmut Wittig

22 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – METEOROLOGIE

Die Analyse atmosphärischer Strömungen

Von Sebastian Limbach, Marcus Marto, Patrick Jöckel, Elmar Schömer und Heini Wernli

26 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – ÖKONOMISCHE PHYSIK

Packen wie die Weltmeister

Von Johannes Josef Schneider und Elmar Schömer

29 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – QUANTENCHEMIE

Moleküle im Computer-Labor

Von Gregor Diezemann, Andreas Köhn und Jürgen Gauss

33 RECHNERGESTÜTZTE FORSCHUNG – BIOINFORMATIK

Technologierevolution in der Genomforschung

Von Thomas Hankeln, Hans Zischler und Erwin R. Schmidt

IMPRESSUM

Herausgeber

Der Präsident der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
Univ.-Prof. Dr. Georg Krausch

Leitung Kommunikation & Presse

Petra Giegerich

Redaktion

Dr. Frank Erdnöß,
Annette Spohn-Hofmann (V.i.S.d.P.)

Kontakt

Tel. +49 (0) 611-40 90 200
Email: frank@erdnuess.de

Auflage

4.000 Exemplare, die Zeitschrift
erscheint zweimal im Jahr

Gestaltung

Thomas Design, Freiburg

Vertrieb

Kommunikation & Presse

Druck

Werbedruck GmbH Horst Schreckhase
Postfach 1233
34283 Spangenberg
Tel. +49 (0) 56 63-94 94
Fax +49 (0) 56 63-93 988-0
Email: kontakt@schreckhase.de
www.schreckhase.de

Namentlich gekennzeichnete Aufsätze geben nicht
unbedingt die Meinung des Herausgebers wieder.
Nachdruck nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet.



Aus den Fachbereichen

- 38 THEOLOGIE
Religion und Frieden
Von Christiane Tietz
- 41 RECHTS- UND WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN
Armut und Überschuldung privater Haushalte
Von Michael Bock, Klaus Breuer, Curt Wolfgang Hergenröder, Stephan Letzel,
Eva Münster und Cornelia Schweppe
- 45 MEDIZIN
Gesundheitsversorgung von Gehörlosen in Deutschland
Von Eva Münster, Johannes Höcker und Luis Carlos Escobar Pinzón
- 49 SPRACHWISSENSCHAFT
Silbensprachen versus Wortsprachen
Von Renata Szczepaniak
- 53 KULTURWISSENSCHAFT
Britischer Film im Kontext von Kultur- und Medientransfer
Von Klaus Peter Müller
- 57 GESCHICHTE
Gesellschaftliche Wertveränderungen in Moderne und Postmoderne
Von Andreas Rödder und Christopher Neumaier
- 60 INFORMATIK
Informationstechnologie in Mainz konstituiert sich neu
Von Herbert Göttler, Jürgen Perl und Elmar Schömer
- 64 GEOWISSENSCHAFTEN
Muscheln – Archive der Erdgeschichte
Von Bernd R. Schöne
- 68 BIOLOGIE
Anpassung – Isolation – Artbildung: Evolution beim Salbei
Von Regine Claßen-Bockhoff
- 72 MUSIK
Auftragskomposition für den Neubau der Hochschule für Musik
Von Carolin Lauer und Kristina Pfarr

Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften

Von Martin Hanke-Bourgeois

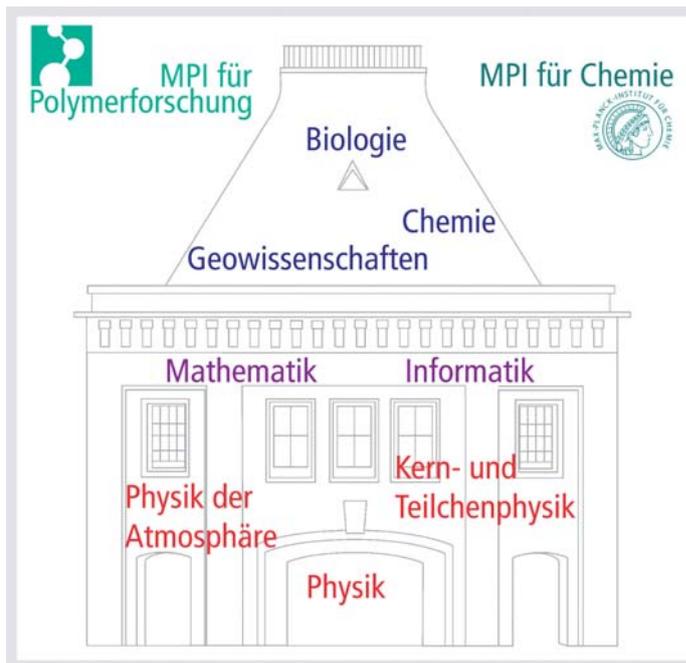
Neben der klassischen Einteilung naturwissenschaftlicher Forschung in theoretische und experimentelle Arbeiten hat sich seit einigen Jahren ein weiterer Bereich etabliert: die numerische, das heißt die computerbasierte Simulation. Die Gründe dafür sind offensichtlich: Durch den schnell fortschreitenden Erkenntnisgewinn und die immer komplexeren Fragestellungen in den Naturwissenschaften werden dezidierte experimentelle Untersuchungen immer komplizierter und aufwendiger, während theoretische Ansätze zu Darstellungen führen, die nur unter groben Vereinfachungen oder allenfalls ansatzweise analytisch auswertbar sind.

An der Johannes Gutenberg-Universität sowie den beiden auf ihrem Campus angesiedelten Max-Planck-Instituten für Chemie und Polymerforschung arbeiten eine ganze Reihe exzellenter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die in diesem neuen Arbeitsbereich hervorragend ausgewiesen sind. In vielen Fällen werden dabei hochparallele Computer für die Simulationen eingesetzt; erst unlängst wurde beispielsweise am Institut für Kernphysik ein neuer Parallelrechner, „Wilson“ genannt, mit 2.240 Einzelprozessoren für Simulationen in der Gittereichtheorie eingeweiht; er landete auf Anhieb auf Platz 123 der Top-500-Liste

der schnellsten Supercomputer der Welt. Auch sei in diesem Zusammenhang auf eine neue Initiative des Landes Rheinland-Pfalz verwiesen: Auf Anregung der Johannes Gutenberg-Universität, unter maßgeblicher Beteiligung ihres Zentrums für Datenverarbeitung, werden gegenwärtig drei Millionen Euro bereitgestellt, um das Land im Bereich des Höchstleistungsrechnens für eine künftige Beteiligung an der Gauß-Allianz zu rüsten, einem Verbund der Supercomputerzentren Deutschlands.

Diese Fakten deuten bereits darauf hin, dass numerische Simulationen in den Naturwissenschaften selten auf individuellen Einzelleistungen basieren, sondern in der Regel im Team realisiert werden und vielfältige Kompetenzen erfordern. Zu dem Know-how in der spezifischen Fachdisziplin kommen Anforderungen an den Umgang mit der entsprechenden Hardware, die trickreiche Implementierung effizienter Algorithmen aus der Informatik und der numerischen Mathematik sowie eine geschickte Verwaltung der unterschiedlichen Softwareversionen und der zum Teil riesigen Datenmengen hinzu. Dabei ähneln sich nicht selten die Arbeitspakete aus unterschiedlichen Disziplinen, etwa im Bereich der Datenverwaltung. Als Beispiele seien genannt: Daten aus kernphysikalischen Großexperimenten, wie sie mit dem neuen LHC-Beschleuniger (Large Hadron Collider) am CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) erzeugt werden, meteorologische Zeitreihen der unzähligen Klimastationen rund um den Erdball, Gensequenzierungsdaten aus dem Bereich der Biologie oder auch die häufig unstrukturierten Daten aus geowissenschaftlichen Feldexkursionen. Ein anderes Beispiel ist die numerische Simulation von Strömungen, die in den verschiedenen Naturwissenschaften auf unterschiedlichsten Längen- und Zeitskalen relevant sind. Sie reichen von extrem großen Skalen in den Geowissenschaften und der Klimaforschung bis hin zu Nanoskalen im Bereich der Polymerforschung und der Biophysik, beruhen aber doch grundsätzlich auf denselben oder verwandten physikalischen Prinzipien, so dass sie oft mit ähnlichen Algorithmen simuliert werden können.

Dementsprechend wird in der Mainzer Forschungslandschaft seit vielen Jahren über eine bessere Vernetzung der entsprechenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nachgedacht, und zwar über die bereits zahlreich bestehenden kollaborativen Forschungsinitiativen (Forscherguppen, Sonderforschungsbereiche etc.) der einzelnen Bereiche hinaus. Als eine erste größere Initiative in diese Richtung wurde bereits im Jahr 2004 die Gründung eines „Zen-



M. Brauburger / Institut für Informatik / JGU Mainz

trums für Computersimulationen“ an der Johannes Gutenberg-Universität diskutiert. In der anschließenden Exzellenzinitiative des Landes Rheinland-Pfalz wurde dieser Plan dann in einen Antrag für ein stärker physikalisch fokussiertes Landesexzellenzcluster integriert. Nachdem dieser Antrag zunächst zurückgestellt und bei dem anschließenden Bundesexzellenzwettbewerb nicht wieder aufgewärmt wurde, ergab sich 2007 eine neue Gelegenheit, als die Hochschulleitung die Fachbereiche zu Vorschlägen für eine wissenschaftliche Schwerpunktbildung an der Universität aufrief.

Der neu gegründete Fachbereich 08, in dem nun Physik, Mathematik und Informatik vereint sind, ergriff daraufhin die Gelegenheit und legte ein neues Konzept vor. Damit sollte auch die Informatik an der Johannes Gutenberg-Universität gestärkt und als zentrales, verbindendes Element in die Mitte der Naturwissenschaften gerückt werden. Dieses Konzept wurde von allen Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Geowissenschaften, Meteorologie und Physik) sowie von Mathematik und Informatik unterstützt; auch die beiden Max-Planck-Institute beteiligten sich an diesem Vorschlag. Der Antrag wurde noch im selben Jahr von einer ausgewiesenen Expertenkommission hervorragend evaluiert, so dass das Land den Forschungsschwerpunkt Mitte 2008 für zunächst rund vier Jahre einrichtete.

Im vergangenen Herbst hat nun der Forschungsschwerpunkt seine Arbeit aufgenommen und gleich eine ganze Reihe neuer Projekte initiiert. Dabei werden finanzielle und personelle Mittel vorrangig zur Förderung innovativer Projekte eingesetzt, die fachübergreifend angelegt sind und auf diese Weise die angestrebte Vernetzung verbessern sowie gleichzeitig die methodische Basis verbreitern. Daneben werden die Mittel aber auch zur Einrichtung von zwei neuen Arbeitsgruppen in der Kernphysik/Gittereichtheorie und in der Theoretischen Chemie genutzt, um einerseits den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern und andererseits eine Brücke zwischen benachbarten Disziplinen zu errichten. Mit einer weiteren, vom Forschungszentrum „Erdsystemwissenschaften“ finanzierten Nachwuchsgruppe im Bereich der Erdsystemmodellierung erfolgt parallel eine stärkere Anbindung der Geowissenschaften, nachdem gemeinsame Kooperationen zuletzt unter Wegberufungen gelitten hatten.

Neben den genannten finanziellen Maßnahmen wird auch ein neuer interdisziplinärer Masterstudiengang „Informatik in den Naturwissenschaften“ (Arbeitstitel) geplant, der dann in einen weiterführenden Graduiertenstudiengang im Bereich der numerischen Simulationen in den Naturwissenschaften münden soll. Dies würde wiederum hervorragend durch das im März 2008 neu gegründete „Max-Planck Graduate Center mit der Johannes Gutenberg-Universität“ flankiert.

Das vorliegende Heft von „Natur & Geist“ soll einen Einblick in die ersten Aktivitäten unter dem neuen Dach des Forschungsschwerpunkts bieten. Ich danke allen Autorinnen und Autoren für die Bereitschaft, ihre stark in den jeweiligen Fächern verankerten Projekte für ein breiteres Publikum aufzubereiten; so wird die Zielsetzung des Forschungsschwerpunkts „Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften“ transparent gemacht. Der Universitätsleitung sowie dem Land Rheinland-Pfalz danken wir für das Vertrauen in unsere Arbeit, die erfahrene Unterstützung sowie die finanzielle Förderung.

Cornelia Kirch



Univ.-Prof. Dr. Martin Hanke-Bourgeois

Martin Hanke-Bourgeois, Professor für Angewandte Mathematik am Fachbereich 08 der Johannes Gutenberg-Universität, wurde 1961 in Frankfurt am Main geboren. Nach Studium und Promotion an der Universität Karlsruhe folgten Forschungsaufenthalte an der Johannes Kepler-Universität Linz (Österreich) und an verschiedenen Universitäten in den USA. Nach der Habilitation 1994 vertrat er zunächst von 1995 bis 1997 den Lehrstuhl Technomathematik an der Universität Kaiserslautern. 1998 folgte er dem Ruf an die Johannes Gutenberg-Universität; einen weiteren Ruf nach Tübingen hat er 2005 abgelehnt. Seit 2008 ist er Sprecher des neuen Forschungsschwerpunkts „Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften“ an der Johannes Gutenberg-Universität.

■ Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Martin Hanke-Bourgeois
 Institut für Mathematik
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 D-55099 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 22 528
 Email: hanke@math.uni-mainz.de

Simulationen auf Grafikkarten: vom Videospiel zur Materialforschung

Von Martin Oettel und Peter Virnau

Nachwuchswissenschaftler des Instituts für Physik erschließen die Rechenleistung von Grafikkarten, wie sie bei Computerspielen zum Einsatz kommen, für materialwissenschaftliche Forschungen. Aufwendige numerische Rechnungen und Simulationen lassen sich auf diese Weise bis zu hundertfach beschleunigen.

Die Erforschung von Materialeigenschaften ist zunehmend von einem massiven Computereinsatz geprägt. Mittlerweile werden immer leistungsfähigere Rechner eingesetzt, um das Verständnis makroskopischer Materialeigenschaften aus dem Zusammenspiel der mikroskopischen Bausteine, der Moleküle, zu erhöhen. Das detaillierte Studium der Eigenschaften und Wechselwirkungen von Molekülen kann zwar prinzipiell auch mittels quantenchemischer Methoden präzise durchgeführt werden (vgl. den Beitrag von Gregor Diezemann und Kollegen). Die Beschreibung eines Ensembles von Molekülen mit diesen Methoden und heute zugänglichen Computern bleibt jedoch in der Regel auf Phänomene beschränkt, die auf sehr kleinen Zeit- und Längenskalen ablaufen. Skalen, die die Wechselwirkungen zwischen den Molekülen in einem Material bestimmen, sind hingegen fast immer deutlich von den entsprechenden quantenmechanischen Skalen getrennt. Hieraus entsteht ein „vergrößertes“ Bild des Materials, welches Atome oder gar Moleküle als klassische Newtonsche Teilchen beschreibt, die durch Kraftfelder miteinander in Wechselwirkung treten. Die Idee der Vergrößerung kann aber auch zu noch langsameren Zeitskalen und größeren Längenskalen fortgesetzt werden, wenn die eigentlich wichtigen mikroskopischen Bausteine eines Materials bereits aus vielen Molekülen zusam-

mengesetzt sind, wie es zum Beispiel bei Polymeren, Membranen oder kolloidalen Objekten der Fall ist. Die Verknüpfung dieser verschiedenen Ebenen führt zu Multiskalen-Modellen, wie sie in der Theoriegruppe des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung zum Einsatz kommen (vgl. den Beitrag von Christine Peter und Kurt Kremer).

Traditionell werden umfangreiche Molekulardynamik-Simulationen, die auf den Newtonschen Bewegungsgleichungen basieren, auf Parallelrechnern mit Hunderten von Prozessor-Kernen durchgeführt. Die Notwendigkeit zur Parallelisierung der Simulationsmethoden ist auch dadurch bedingt, dass die Erhöhung der Rechenleistung der Computer im letzten Jahrzehnt eher durch die Entwicklung paralleler Architekturen auf den Prozessoren (CPUs) erreicht wurde als durch die Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines einzelnen CPU-Kernes. Darüber hinaus ist die Erhöhung der Rechenleistung über massive Parallelisierung im letzten Jahrzehnt auch an einem anderen Baustein moderner Computer konsequent vorangetrieben worden: an den Grafikkarten (GPUs – graphical processing units), wie sie etwa zur Beschleunigung von Videospiele zum Einsatz kommen. Der expandierende Markt für Computerspiele führte dabei zur Entwicklung immer leistungsfähigerer Grafikkarten, die eine immer realistischere Darstellung in hohen Auflösungen gewährleisten. Grafikkarten müssen dabei immer wiederkehrende, relativ einfache Fließkommarechnungen (gemessen in Flop/s – Rechenoperationen pro Sekunde) in hoher Geschwindigkeit durchführen. Dafür wurde eine parallele Architektur entwickelt, die – zum Beispiel bei einer modernen Grafikkarte der Firma NVIDIA – aus 30 Multiprozessoren mit jeweils acht einfachen Rechenkernen, in der Summe also aus 240 Kernen, besteht (im Vergleich zu vier Kernen auf modernen QuadCore-Prozessoren). Abbildung 1 zeigt eine solche Karte, die zwei der oben beschriebenen GPU-Einheiten umfasst. Werden diese GPU-Kerne gleichmäßig ausgelastet, so sind erheblich mehr Rechenoperationen möglich als auf herkömmlichen CPUs. Verdeutlicht man sich diese Leistungsunterschiede von GPU und CPU, so scheint es naheliegend, sich diese Kapazitäten auch im wissenschaftlichen Rechnen zunutze zu machen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich nicht jedes Problem auf dieser „Architektur“ effizient darstellen lässt. Lediglich Fragestellungen, bei denen immer gleiche (voneinander unabhängige) Rechenoperationen auf unterschiedliche Daten angewendet werden, eignen sich für eine solche Plattform. Bis vor wenigen Jah-

Abb. 1: Grafikkarte der aktuellen Generation (NVIDIA GTX 295).



ren war es auch nicht möglich, Grafikkarten in einer höheren Programmiersprache anzusprechen, was aus Gründen der Portabilität und Programmierfreundlichkeit natürlich wünschenswert ist. Seit 2003 gibt es nun Bestrebungen, Programmierumgebungen für Grafikkarten zu entwickeln, die der weitverbreiteten Programmiersprache C angepasst sind. Hervorzuheben ist hier CUDA (Compute Unified Device Architecture) von NVIDIA, welches 2006 eingeführt wurde und sich seitdem steigender Beliebtheit auch für wissenschaftliche Anwendungszwecke erfreut.

Im Rahmen des Schwerpunkts für „Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften“ (SRFN) werden zurzeit in mehreren Mainzer Arbeitsgruppen fächerübergreifend Anwendungsmöglichkeiten von Grafikkarten für wissenschaftliche Fragestellungen getestet, beispielsweise bei Packproblemen in der Informatik (vgl. den Beitrag von Johannes J. Schneider und Elmar Schömer) oder für Berechnungen in der Hochenergiephysik. Unsere Arbeitsgruppen beschäftigen sich hingegen schwerpunktmäßig mit materialwissenschaftlichen Fragestellungen. Erste Erfahrungen mit dieser neuen Plattform wurden jedoch auch auf anderen Gebieten gesammelt. So wurden von Tobias Preis, einem Junior-Mitglied der Gutenberg-Akademie und Doktoranden unseres Institutes, Zeitreihenanalysen von Börsendaten auf der Grafikkarte implementiert.¹ Die enorme Rechenleistung ermöglicht hierbei, eingehende Informationen auf Millisekundenbasis ohne Einsatz eines Supercomputers in Echtzeit zu analysieren. Einer späteren Integration in ein Real-Time-Risikomanagementsystem ist ebenfalls möglich. Darüber hinaus wurde die Berechnungszeit für ein klassisches Modell des Magnetismus, das sogenannte Ising-Modell, im Vergleich zu einem einzelnen CPU-Kern um bis auf das Sechzigfache herabgesetzt.² Hierbei kam der sogenannte Schachbrett-Algorithmus zum Einsatz, der bereits seit Jahrzehnten bei der Parallelisierung auf gewöhnlichen Supercomputern angewendet wird. Man darf jedoch nicht vergessen, dass die Übertragung bekannter und bewährter Algorithmen auf die Grafikkarte nicht frei von Problemen ist. Denn es ist dafür zu sorgen, dass alle GPU-Kerne möglichst gleichmäßig „beschäftigt“ werden, was gelegentlich sehr spezifische Detailarbeit an einem Programmcode erfordert.

Seit Ende 2008 wird auch vom SRFN ein Dissertationsprojekt mit einer Anschubfinanzierung gefördert, in dem ein Beitrag zu aktuellen Fragen der Materialforschung geleistet werden soll.

Für weiche oder biologische Materialien ist eine präzise Behandlung mit Multiskalen-Modellen in der Simulation, wie sie anfangs skizziert wurden, nicht unbedingt einfach. Zudem ist ein generisches Verständnis dieser Materialien oft noch sehr rudimentär. Das heißt, es ist letztlich unklar, welche Art von mikroskopischen Korrelationen zu den oft ungewöhn-

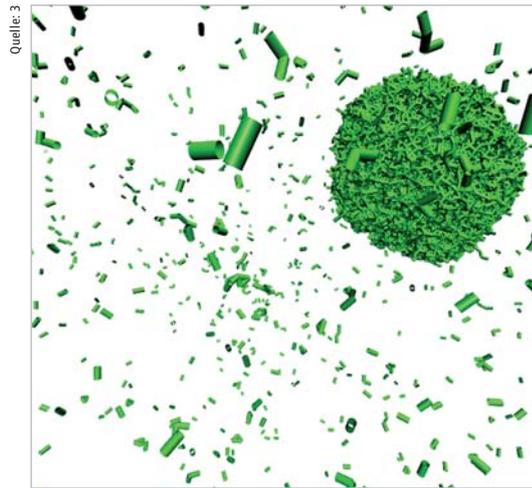


Abb. 2: Keimbildungssimulation mit HOOMD (Highly Optimized Object-oriented Molecular Dynamics); Endkonfiguration eines nukleierten Tröpfchens. In dieser Darstellung sind nahe beieinanderliegende Teilchen durch zylinderförmige Brücken verbunden.

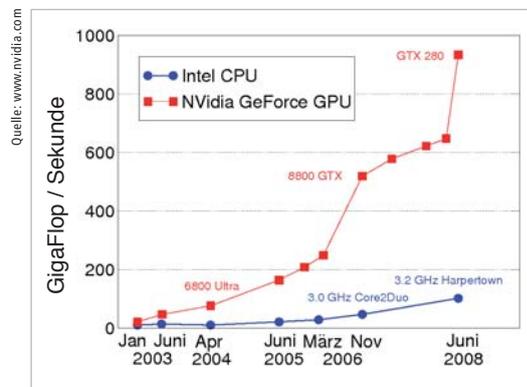


Abb. 3: Vergleich der theoretisch erreichbaren Rechenleistung von GPU und CPU in GFlops (engl.: Giga-floating-point-operations per second = Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde).

lichen makroskopischen Eigenschaften solcher Materialien führt. Beispiele für solche ungewöhnlichen Eigenschaften sind Phasentrennungsphänomene, nicht-monotones Verhalten unter Scherung sowie Übergänge zu gel- und glasartigen Zuständen mit extrem verlangsamter Dynamik, deren charakteristische Zeitskala um viele Größenordnungen über der Zeitskala der molekularen Dynamik liegt. Kolloidale Flüssigkeiten, die aus mikroskopischen Bausteinen verschiedener Größe bestehen, sind typische weiche Materialien, die ein derart komplexes Verhalten zeigen. Die Modellierung solcher Systeme mit einfachen, „generischen“ Wechselwirkungspotentialen erlaubt sowohl eine Behandlung mit den üblichen molekulardynamischen Simulationsmethoden als auch mit Methoden der klassischen Dichtefunktionaltheorie. Konkret geht es in einem ersten Schritt darum, an einem einfachen Modell für eine kolloidale Flüssigkeit (Kugeln in einer Suspension) die mikroskopische Dynamik eines Testteilchens zu studieren. Im Nichtgleichgewicht enthalten diese dynamischen Korrelationen – als Funktion einer äußeren treibenden Kraft und der Zeit – Informationen über die Fließeigenschaften der Flüssigkeit und können auch das Auftreten von Übergängen zu glas- oder gelartigen Zuständen signalisieren. Dies ist ein Beispiel für den bereits erwähnten Zusammenhang zwischen mikroskopischen Korrelationen und makroskopischen Eigenschaften des Materials.

Erste Testrechnungen mittels klassischer Dichtefunktionaltheorie auf Grafikkarten signalisieren auch hier Geschwindigkeitszuwächse, wie sie schon in den vorhergehenden Studien erzielt worden sind. Darüber hinaus haben wir auch erste Testsimulationen zur Phasenseparationskinetik und Keimbildung (Abb. 2) mit bereits bestehenden Molekulardynamikpaketen auf Grafikkarten unternommen.³

Die hier beschriebenen Ansätze stellen lediglich einen ersten Schritt zu einer weiterführenden Nutzung dieser neuen Technologie im wissenschaftlichen Rechnen dar. Das enorme Potential der Grafikkarten lässt sich nicht zuletzt an der Entwicklung der Rechenleistung im Vergleich zu herkömmlichen CPUs in den letzten Jahren veranschaulichen (Abb. 3). Diese Entwicklung eröffnet für die Zukunft die Perspektive, neuartige, an große Systeme und lange Simulationszeiten geknüpfte Fragestellungen anzugehen.

■ Summary

Young scientists from the department of physics utilize the computing power of modern graphic cards, which are primarily used to accelerate video games, for research in Materials Science. Acceleration factors of up to 100 are achieved for complex numerical calculations and simulations. In the near future a new class of problems can be tackled which require large systems and long simulation times.

Literatur

1. Preis T, Virnau P, Paul W, Schneider JJ. Accelerated fluctuation analysis by graphic cards and complex pattern formation in econophysics. Eingereicht 2009.
2. Preis T, Virnau P, Paul W, Schneider JJ. GPU accelerated Monte Carlo simulations of the 2D and 3D Ising models. J Comp Phys 2009; 228: 4468.
3. Anderson JA, Lorenz CD, Travesset A. General purpose molecular dynamics simulations fully implemented on graphics processing units. J Comp Phys 2008; 227: 5342.

Cornelia Kirch / Institut für Physik / JGU Mainz



Dr. Martin Oettel

Martin Oettel, Jahrgang 1973, studierte Physik an der TU Clausthal, der State University of New York in Stony Brook und der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Promoviert hat er im Jahr 2000 in Tübingen

mit einem Thema aus der Elementarteilchentheorie. Nach einem durch die Alexander von Humboldt-Stiftung unterstützten Postdoc-Aufenthalt in Adelaide (Australien) wechselte er 2002 an das Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart. Seither ist sein Forschungsschwerpunkt in der Theorie der Flüssigkeiten und kolloidalen Systeme angesiedelt. Seit 2006 leitet er eine unabhängige Nachwuchsgruppe in Mainz innerhalb des Sonderforschungsbereiches TR6 („Kolloide in externen Feldern“), die sich schwerpunktmäßig mit Ordnungsphänomenen von Kolloiden an Grenzflächen beschäftigt.

Cornelia Kirch / Institut für Physik / JGU Mainz



Dr. Peter Virnau

Peter Virnau, Jahrgang 1976, studierte Physik an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg und an der Louisiana State University in Baton Rouge (USA). Nach seinem Master-Abschluss promovierte er in der Arbeitsgruppe von Prof. Kurt Binder an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz über Monte-Carlo-Simulationen von Polymeren. Nach einem dreijährigen Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (USA) kehrte er zur Habilitation nach Mainz zurück. Neben den oben erwähnten Grafikkarten gehören auch Monte-Carlo-Simulationen von Kolloiden und Polymeren sowie Keimbildung und topologische Eigenschaften von Proteinen zu seinen Forschungsschwerpunkten. Für seine biophysikalischen Arbeiten wurde ihm 2007 der Kalkhof-Rose-Gedächtnispreis der Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur verliehen.

er in der Arbeitsgruppe von Prof. Kurt Binder an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz über Monte-Carlo-Simulationen von Polymeren. Nach einem dreijährigen Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (USA) kehrte er zur Habilitation nach Mainz zurück. Neben den oben erwähnten Grafikkarten gehören auch Monte-Carlo-Simulationen von Kolloiden und Polymeren sowie Keimbildung und topologische Eigenschaften von Proteinen zu seinen Forschungsschwerpunkten. Für seine biophysikalischen Arbeiten wurde ihm 2007 der Kalkhof-Rose-Gedächtnispreis der Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur verliehen.

■ Kontakt

Dr. Martin Oettel
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Institut für Physik
 D-55099 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 23 645
 Fax +49 (0) 6131-39 25 441
 Email: oettelm@uni-mainz.de
www.cond-mat.physik.uni-mainz.de/~oettel

Der Komplexität auf den Grund gehen

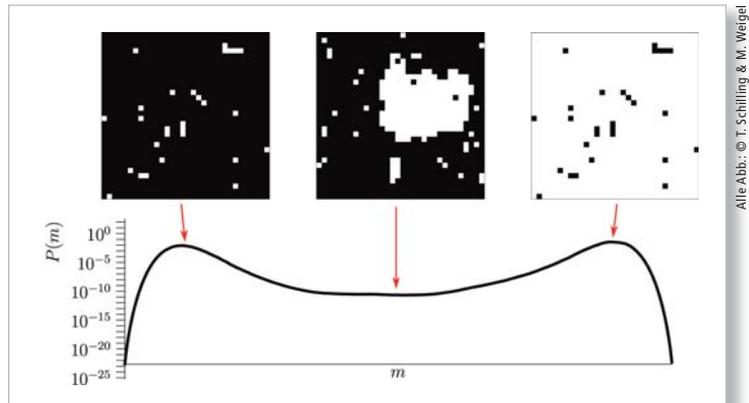
Von Martin Weigel und Tanja Schilling

Die dynamische Entwicklung verfügbarer Rechenleistungen, vor allem jedoch die Konzeption und Weiterentwicklung neuer Simulationsmethoden, versetzt uns erstmals in die Lage, eine Vielzahl von faszinierenden Systemen mit komplexen Energielandschaften untersuchen zu können. Ein besseres Verständnis der Entstehung von Komplexität in Systemen aus einfachen Elementen rückt dann in greifbare Nähe.

Phasenübergänge, wie die Verdunstung von Wasser oder der Verlust der ferromagnetischen Eigenschaften eines Kühlschranks oberhalb einer bestimmten Übergangstemperatur, sind Phänomene, die in der Alltagswelt ebenso wie in technischen Systemen oder in kosmischen Dimensionen häufig auftreten. Entsprechend sind sie von überragender Bedeutung auch für die Wissenschaft. Für den Fall einfacher Substanzen, wie für das Schmelzen und Verdunsten einfacher Flüssigkeiten oder für den Magnetismus (anti-)ferromagnetischer Materialien, sind die zugrunde liegenden Prinzipien der statistischen Physik inzwischen gut verstanden. Die Gleichgewichtseigenschaften solcher Systeme lassen sich daher sowohl mithilfe analytischer Rechnungen als auch durch Simulation auf Computersystemen im Detail studieren. Schwieriger wird es, wenn man den genauen Ablauf des Übergangs verstehen will, insbesondere für einen sogenannten Phasenübergang erster Ordnung, wie er etwa bei der Kondensation von Wasser auftritt. Der Übergang findet dann erst deutlich unterhalb der eigentlichen Übergangstemperatur spontan statt. Davor ist das System metastabil, da es zur Realisierung des Übergangs eine kinetische Barriere überwinden muss. Noch dramatischere Effekte ergeben sich bei Systemen mit Unordnung, wo die Dynamik durch eine Vielzahl metastabiler Zustände verlangsamt wird. Die Untersuchung solcher Übergangsphänomene stellt daher weiterhin eine große Herausforderung für die Modellierung am Computer – wie im Übrigen auch für analytische Rechnungen – dar.

Seltene Ereignisse

Man betrachte etwa einen Ferromagneten, vereinfacht dargestellt durch eine regelmäßige Anordnung von magnetischen Momenten, die jeweils eine von nur zwei Einstellmöglichkeiten realisieren, also „nach oben“ oder „nach unten“ zeigen (Ising-Modell). Unterhalb der ferromagnetischen Übergangstemperatur sind bis auf wenige Ausnahmen alle Momente parallel zueinander ausgerichtet. Das Material zeigt daher

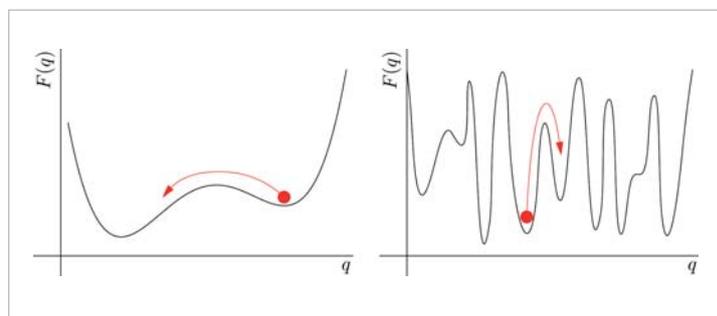


Alle Abb.: © T. Schilling & M. Weigel

makroskopisch magnetische Eigenschaften, wie wir sie aus dem Alltag kennen (vgl. Abb. 1). Es gibt dann zwei äquivalente Gleichgewichtslagen des Systems, in der die Mehrzahl der Momente entweder gemeinsam nach oben oder gemeinsam nach unten zeigen. Das entspricht den schwarzen und weißen Bereichen in Abbildung 1. Zeigen die Momente nach oben und man legt ein nach unten gerichtetes magnetisches Feld an, so findet ein Phasenübergang erster Ordnung in die Phase mit nach unten gerichteten Momenten statt. Es muss daher Übergangszustände mit einem Tropfen von Momenten der umgekehrten Orientierung geben, wie in der mittleren Konfiguration von Abbildung 1 dargestellt. Solche Zustände sind jedoch gegenüber den Gleichgewichtslagen hochgradig unterdrückt, da ihre (freie) Energie höher ist als die der reinen Phasen. Wie die Wahrscheinlichkeitsverteilung in Abbildung 1 zeigt, kann diese Unterdrückung viele Größenordnungen betragen (man beachte die logarithmische Skala der Ordinate). Es handelt sich daher um seltene Ereignisse, die sowohl in der Natur als auch in einer Computersimulation schwer zu beobachten sind.

Abb. 1: Magnetisches System aus nach oben (schwarz) oder nach unten (weiß) gerichteten magnetischen Momenten. Um von der einen in die andere Phase zu gelangen, muss ein seltenes Ereignis eintreten – hier die Bildung eines Tropfens von umgekehrten Momenten.

Abb. 2: (Freie) Energielandschaften für ein System mit einem einfachen Phasenübergang erster Ordnung (links) und ein komplexes System mit einer Vielzahl von Minima und Barrieren (rechts).



Computersimulationen

Während sich die Dynamik solcher Systeme im Experiment nur bedingt beeinflussen lässt, erlauben neue Methoden der Computersimulation die präzise Bestimmung der Eigenschaften von seltenen Über-

gangszuständen. Solche Methoden werden auch in unserer Arbeitsgruppe in Mainz aktiv weiterentwickelt. Eine klassische Monte-Carlo-Simulation erzeugt Konfigurationen des Systems entsprechend der Häufigkeit, mit der sie auch experimentell beobachtet würden. Angesichts von Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie der in Abbildung 1 gezeigten, sind die gesuchten Ereignisse aber so selten, dass für größere Systeme in der zur Verfügung stehenden Rechenzeit kein einziges zu beobachten sein wird. Wenn sich das System, wie im linken Teil von Abbildung 2 angedeutet, in einem metastabilen Zustand befindet, wird es also aufgrund der Energiebarriere sehr lange Zeit brauchen, bis es in die thermodynamisch stabile Phase niedrigerer (freier) Energie übergeht. Wenn man am Studium der Übergangszustände interessiert ist, befindet sich das System also fast die gesamte Zeit im „uninteressanten“ Teil des Phasenraums. Mithilfe sogenannter multikanonischer Simulationen und verwandter Techniken lassen sich die seltenen Ereignisse dennoch beobachten und hochpräzise vermessen: Die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens wird künstlich angehoben und zwar unter Umständen um viele Größenordnungen, wobei auf die ursprüngliche Verteilung jederzeit ohne systematische Fehler zurückgerechnet werden kann. In Abbildung 1 würde also das „Tal“ zwischen den reinen Phasen in der Verteilungsfunktion mit diesem Ansatz überbrückt.

Komplexe Systeme

Problemstellungen von der beschriebenen Art treten in vielen aktuellen Forschungsgebieten auf. So untersuchen wir etwa kolloidale Systeme, also mesoskopische Teilchen von einigen Nanometern bis zu einem Mikrometer Größe, die sich in einem Lösungsmittel aus mikroskopischen Teilchen (Größe von einigen Ångström) bewegen. Solche Systeme sind als Modelle für eine Vielzahl von physikalischen Situationen in Computersimulationen und Experimenten sehr nützlich. Betrachtet man etwa eine Suspension aus stäbchenförmigen Kolloiden, so verhalten sich diese unter bestimmten Umständen wie Flüssigkristalle, das heißt, es gibt neben dem ungeordneten (isotropen) und dem kristallinen Zustand auch teilgeordnete Phasen, wie etwa die im linken Teil von Abbildung 3 zu sehende nematische Phase. Dort sind die Stäbchen

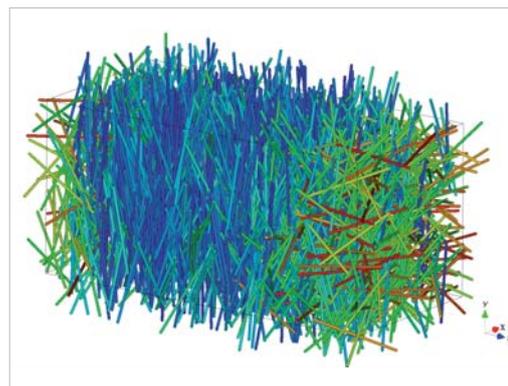


Abb. 3: Koexistenzkonfiguration der nematischen und isotropen Phase in einer Suspension aus stäbchenförmigen Kolloiden.

zwar bezüglich ihrer Richtung, jedoch nicht hinsichtlich ihrer Position geordnet. Der Übergang von der isotropen in die nematische Phase ist von erster Ordnung, so dass Effekte von Metastabilität und Koexistenz (vgl. Abb. 3) zu beobachten sind.

Während die entsprechenden Übergangszustände mit konventionellen Simulationsmethoden nicht mit vertretbarem Aufwand untersucht werden können, erlauben verallgemeinerte Methoden vom Typ der multikanonischen Simulationen eine genaue Bestimmung der Landschaft der (freien) Energie. Das Ergebnis einer solchen Simulation ist in Abbildung 4 veranschaulicht, wo die freie Energie als Funktion der Anzahl der Stäbchen (bei konstantem Volumen) und der Ausprägung nematischer Ordnung dargestellt ist. Dies entspricht einer logarithmischen Darstellung der Wahrscheinlichkeiten. Man erkennt also, dass die Übergangszustände auf dem Sattel zwischen den Hügeln hochgradig unterdrückt sind.

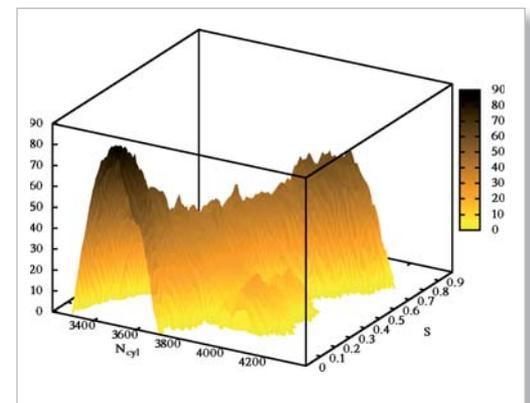
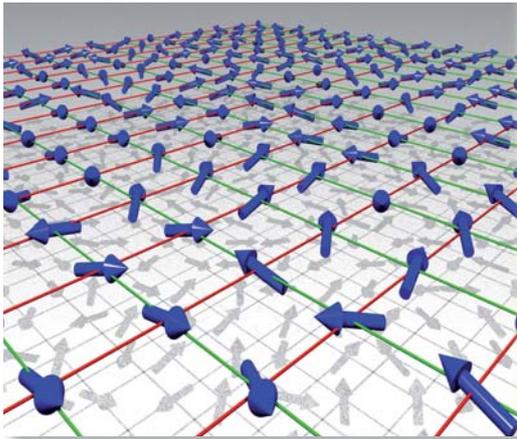


Abb. 4: (Inverse) Freie Energie einer Suspension von Stäbchen als Funktion der Zahl der Stäbchen (N_{cyl}) und des nematischen Ordnungsparameters (S). Der vordere Gipfel entspricht dabei der isotropen und der hintere der nematischen Phase des Systems.

Noch schwieriger ist die numerische Untersuchung von Systemen mit frustrierender Unordnung, wie sie etwa bei magnetischen Systemen mit einer zufälligen Mischung ferromagnetischer und antiferromagnetischer Kopplungen auftritt. Diese Situation ist für viele magnetische Materialien kennzeichnend, etwa auch für eine Reihe von Kandidaten für Hochtemperatursupraleiter. Solche Spinglassysteme zeigen nicht nur einen oder wenige metastabile Zustände wie bei Phasenübergängen erster Ordnung, sondern weisen eine hochkomplexe Landschaft der freien Energie mit einer Vielzahl von Tälern und dazwischen liegenden Energiebarrieren auf; man vergleiche dazu den rechten Graphen in Abbildung 2. Die Anwesenheit widerstreitender Wechselwirkungen im System führt dabei zu Frustrationseffekten, die schließlich in der Vielzahl metastabiler Zustände münden. Bei niedrigen Temperaturen zeigt ein solches System keine langreichweitige Ordnung, wie der Ferromagnet in Abbildung 1, sondern ein Einfrieren der Momente in zufälligen relativen Orientierungen (vgl. Abb. 5).



Dr. Martin Weigel

Martin Weigel, Jahrgang 1972, studierte Physik, Philosophie und Betriebswirtschaftslehre an der Johannes Gutenberg-Universität, wo er 1998 mit einer Diplomarbeit zu konformen Skalenrelationen abschloss. Er wurde 2002 bei Prof. Wolfhard Janke in Leipzig über Zufallsgeometrien in der statistischen Physik und Quantengravitation promoviert. Er wechselte dann als Postdoc an die University of Waterloo und 2005 mit einem Marie Curie-Stipendium der EU nach Edinburgh. Seit 2008 leitet Martin Weigel eine Nachwuchsgruppe im Emmy Noether-Programm, die sich mit der statistischen Physik ungeordneter und frustrierter Systeme befasst. Derzeit vertritt er einen Lehrstuhl für theoretische Physik an der Universität des Saarlandes.

Abb. 5: In einem Spinglas sind die magnetischen Momente bei tiefen Temperaturen in zufälligen relativen Orientierungen eingefroren.

Dabei führt die Existenz vieler solcher metastabiler Konfigurationen mit ähnlichen Energien zu interessanten dynamischen Phänomenen, wie etwa Gedächtnis- und Verjüngungseffekten. Für die Untersuchung solcher Systeme mit Computersimulationen ist der Einsatz moderner Simulationstechniken, wie der multikanonischen Verfahren, schon zur Untersuchung der reinen Phasen erforderlich. Denn diese entsprechen, gemäß der Skizze in Abbildung 1, der Überlagerung einer Vielzahl von metastabilen Zuständen.

Ausblick

Ein komplexes und reichhaltiges Spektrum von Effekten ist für Systeme aus einfachen Bausteinen in der Physik der kondensierten Materie eher die Regel als die Ausnahme. Computersimulationen erlauben die Forschung an vereinfachten Systemen ebenso wie an realistischen Modellen und machen viele Aspekte ihres Verhaltens erst der Untersuchung zugänglich. Ein ergiebiger Begriff zum Verständnis solcher Systeme ist das Konzept der Energielandschaft, das von Situationen mit zwei oder wenigen Tälern bis zu hochkomplexen Strukturen in Anwesenheit von frustrierenden Wechselwirkungen reicht. In Mainz begegnen wir der Herausforderung solch komplexer Energielandschaften durch die Weiterentwicklung neuartiger Simulationsmethoden. Mit ihnen lassen sich seltene Ereignisse häufig machen und damit im Detail studieren.

■ Summary

A large number of condensed matter systems, ranging from spin glasses over biopolymers to colloids, show complex behavior resulting from competing interactions and effects of geometric competition. Statistical physics explains these observations in terms of studying the arrangement of favorable and unfavorable configurations of such systems which is known as the "energy landscape". New algorithms allow for a much more efficient investigation of such problems using computer simulations.



PD Dr. Tanja Schilling

Tanja Schilling, Jahrgang 1974, studierte Physik in Frankfurt am Main. Sie erhielt 1997 ihr Diplom für eine Arbeit über theoretische Kernstrukturphysik. 2001 wurde sie in Köln promoviert. In ihrer Doktorarbeit beschäftigte sie sich mit den Benetzungseigenschaften von Flüssigkeitsgemischen. Danach verbrachte sie drei Jahre als Postdoc mit einem Marie Curie-Stipendium der EU in Amsterdam. Seit 2004 leitet Tanja Schilling eine Nachwuchsgruppe im Emmy Noether-Programm an der Universität Mainz, in der Materialeigenschaften weicher kondensierter Materie mittels Computersimulation untersucht werden. Im Jahr 2007 wurde Tanja Schilling habilitiert.

■ Kontakt

Dr. Martin Weigel
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Institut für Physik
 Staudinger Weg 7
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-3922581
 Fax +49 (0) 6131-3927230
 Email: weigel@uni-mainz.de
<http://www.cond-mat.physik.uni-mainz.de/~weigel/>

Multiskalensimulationen in der Materialwissenschaft

Von Christine Peter und Kurt Kremer

Aus der großen Komplexität vieler Materialien ergibt sich oft die Notwendigkeit, Fragestellungen sowohl in sehr kleinem, mikroskopischem Maßstab als auch auf deutlich größeren Längenskalen praktisch gleichzeitig zu beantworten. Daher werden am Max-Planck-Institut für Polymerforschung Multiskalensimulationen entwickelt und eingesetzt, bei denen mehrere Simulationsmethoden systematisch miteinander verknüpft werden.

Neben Experiment und Theorie bilden Computersimulationen mittlerweile in vielen naturwissenschaftlichen Disziplinen, wie Physik, Chemie und Biologie, ein drittes Standbein, das aus der aktuellen Forschung nicht mehr wegzudenken ist. Oft stellen sie ein Bindeglied zwischen experimentellen Ergebnissen und theoretischen Vorhersagen und Deutungen dar: Zum einen kann man mit Computersimulationen zur Interpretation von experimentellen Beobachtungen beitragen, da sie die Möglichkeit bieten, die Prozesse, die zu einem bestimmten Ergebnis führen könnten, auf dem Rechner „nachzustellen“. Zum anderen kann man in der Computersimulation theoretische Vorhersagen unter kontrollierten Rahmenbedingungen testen und Parameter systematisch variieren, weshalb Computersimulationen auch gerne als in-silico Experimente bezeichnet werden.

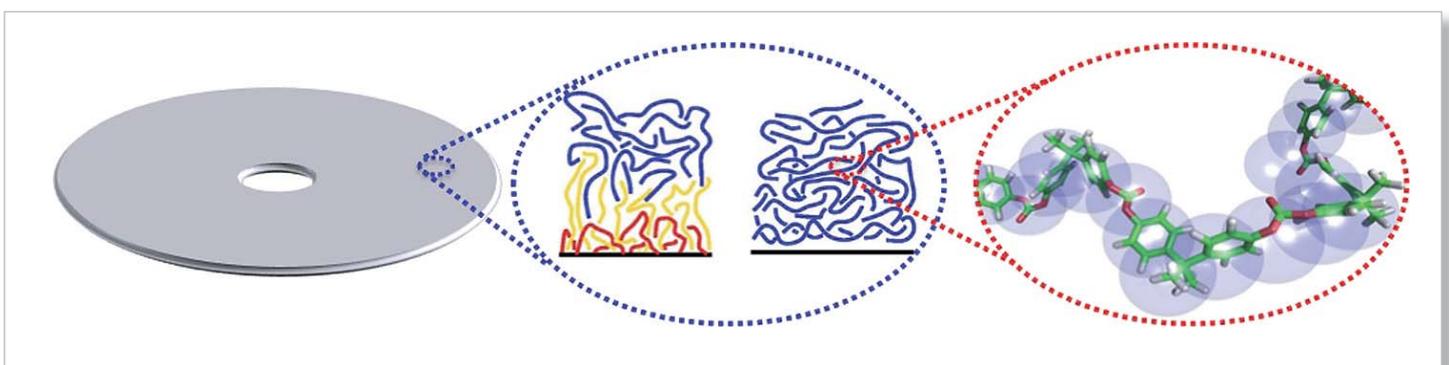
In Physik, Chemie und Materialforschung, aber auch in der Biologie, werden Computersimulationen vielfach eingesetzt, um den Zusammenhang zwischen physikalischen Eigenschaften (u. a. Steifigkeit, Reißfestigkeit, Magnetisierung als Funktion der Temperatur oder Mischbarkeit von Legierungen) bestimmter Substanzen/Materialien und ihrer mikroskopischen (atomaren) Struktur zu untersuchen. Abbildung 1 illustriert dies anhand einer CD, deren mechanische

und optische Eigenschaften durch die Kettenmoleküle (Polymere) bestimmt werden, aus denen das Material aufgebaut ist.

Leider ist diese Materialforschung mittels Computersimulation in der Praxis nicht ganz so einfach, da die Rechenzeit, die man zur Lösung eines chemischen oder physikalischen Problems benötigt, zumindest proportional zur Anzahl der einzelnen Teilchen ist, die in der Simulation berücksichtigt werden. Je mehr Teilchen, Experten sprechen hier von Freiheitsgraden, man simulieren möchte, umso größer ist der Rechenaufwand. Das setzt den Systemgrößen, die man einfach so simulieren kann, natürliche Grenzen. Eine einfache Rechnung kann dieses Dilemma ein wenig illustrieren. Nehmen wir einmal an, wir würden alle wichtigen molekularen Eigenschaften von Wasser genau kennen, was bis heute noch nicht der Fall ist. Eine Probe von einem Milliliter Wasser enthält größenordnungsmäßig 10^{22} Wassermoleküle. Wollte man nun lediglich die Positionen jedes einzelnen Moleküls aufschreiben, so erhielte man eine Datei von mehr als einer Milliarde Terabyte, also mehr als 1.000.000.000.000.000.000 Byte. Allein für die Datenspeicherung, also noch ohne jegliche Rechnung, wären mehr als eine Milliarde moderner Festplatten nötig. Daraus folgt, dass man für solche makroskopischen Systeme nicht jedes einzelne Atom oder Molekül genau betrachten kann, man kann sozusagen nicht mit atomarer Auflösung arbeiten. Die Simulation atomar aufgelöster Systeme ist üblicherweise auf eine bis wenige Millionen Einzelteilchen beschränkt.

Nun gibt es aber speziell in der Materialforschung Probleme oder Eigenschaften, die man nur bei entsprechend großen Systemen überhaupt beobachten oder erklären kann, zum Beispiel die mechanische Stabilität, aber auch das Fließverhalten von Polyme-

Abb. 1: Die Eigenschaften einer CD (links) ergeben sich aus dem Verknäueln und Verhaken langer Kettenmoleküle aus vielen identischen Einheiten und der Struktur in der Nähe der Oberfläche (Mitte, rechts).



Alle Abb.: © Christine Peter, Kurt Kremer

ren. Polymere ist die generelle Bezeichnung für sehr große Kettenmoleküle. Verschiedenste Polymere sind die Bausteine synthetischer Kunststoffe, aber auch natürlicher Materialien wie beispielsweise Holz, Baumwolle oder auch der DNA, die die Erbinformation trägt.

Ähnliches wie bei der Systemgröße ergibt sich auch bei der Zeit, auch hier benötigen viele Prozesse in der Realität deutlich längere Zeiten, als man mittels Computersimulationen so ohne Weiteres erfassen kann. Bei einer atomar aufgelösten Simulation werden die Newtonschen Bewegungsgleichungen mithilfe des Computers integriert. Um das machen zu können, muss man die Berechnung in kleine Zeitschritte diskretisieren, die wesentlich kleiner sind, als die typischen Zeiten für die Schwingungen der Atome gegeneinander. Das bedeutet, dass der typische Zeitschritt in der Größenordnung von 10^{-15} Sekunden liegt. Nur eine Sekunde zu simulieren, würde rund 1.000.000.000.000.000 Zeitschritte erfordern. Zusammengefasst bedeutet das, dass solche „Brute Force“ Simulationen auch in Zukunft nicht oder nur in ganz wenigen Ausnahmefällen möglich sein werden. Andererseits stellt sich natürlich die Frage, ob solche Simulationen überhaupt sinnvoll sind, oder ob es intelligente Alternativen gibt.

Auf den ersten Blick erscheint es also unmöglich, komplexe Fragen der Materialforschung mittels Computersimulationen anzugehen, selbst wenn man an die neuesten Rechnergenerationen denkt. Es gibt jedoch Methoden, dieses Dilemma zu umgehen, indem man Beschreibungen der Systeme auf Ebenen unterschiedlicher Detailliertheit systematisch miteinander verbindet. Solche Multiskalensimulationsmethoden werden in der Theoriegruppe am Max-Planck-Institut für Polymerforschung (MPI-P) seit Jahren entwickelt. Im Folgenden werden wir zur Illustration allerdings keine Beispiele aus dem Umfeld komplexer Materialien verwenden, sondern zur Vereinfachung Wasser und wässrige Systeme. Das ist auch für unsere Arbeit von Bedeutung, da viele (insbesondere biologische) Polymere wasserlöslich sind.

Die Grundidee bei Computersimulationen mit verschiedenen Auflösungen (Skalen) ist, dass man je nach Problem oder Fragestellung mit unterschiedlicher Genauigkeit „hinschauen“ muss. Man benötigt zum Beispiel nicht in allen Fällen Kenntnis über die exakte Position aller Moleküle in einer Probe. Um zum Beispiel zu verstehen, wie Wasser fließt, benötigt man keine detaillierten Informationen über jedes einzelne Wassermolekül, sondern nur über gemittelte Größen, das heißt über die Durchschnittswerte von vielen Molekülen. Zudem benötigt man Kenntnis über Strömungen und Verwirbelungen, die jedoch Phänomene auf großen Längenskalen darstellen. Die dazu notwendigen gemittelten Größen, etwa die Viskosität, kann man oft aus weniger aufwendigen

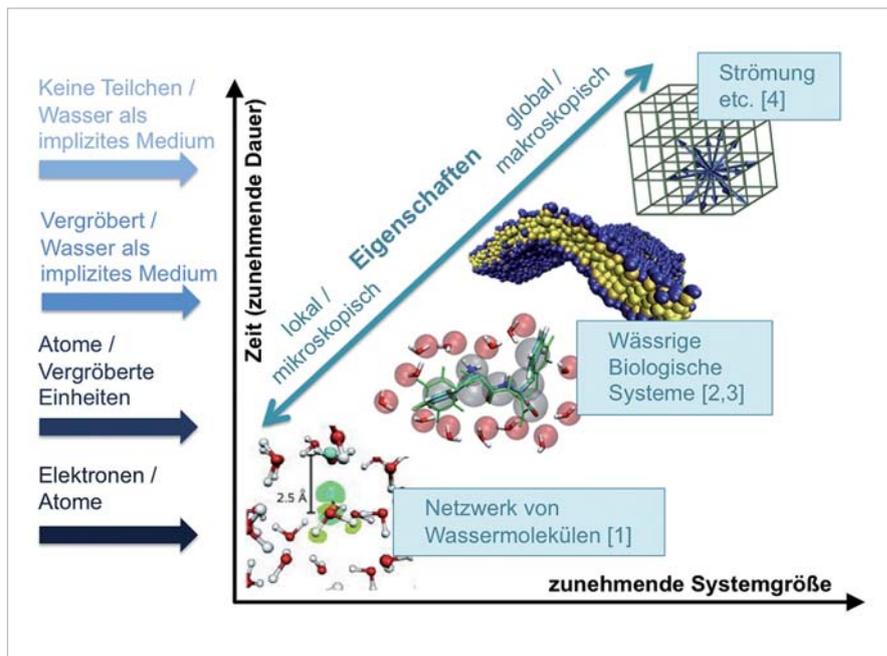


Abb. 2: Verschiedene Simulationsmethoden (Skalen) liefern Informationen bei unterschiedlich hoher Auflösung, hier illustriert anhand verschiedener wässriger Systeme. Beispiele aus dem Arbeitskreis Kremer.^{1,2,3,4}

Berechnungen oder auch aus Experimenten ableiten. Weiterhin ist eine genaue Kenntnis der Wasserstruktur notwendig, wenn man verstehen will, warum Wasser sich beim Gefrieren ausdehnt; in diesem Fall muss man genau verstehen, wie sich die verschiedenen Wassermoleküle zueinander anordnen. Hier ist es jedoch nicht unbedingt nötig, „riesige“ Proben zu betrachten.

Man kann also in Abhängigkeit vom zu lösenden Problem verschiedene Simulationsmethoden verwenden. Dies ist in Abbildung 2 illustriert, wobei wir auch hier das Beispiel Wasser gewählt haben. Die Abbildung zeigt einerseits, welche Eigenschaften von wässrigen Systemen man mithilfe von Methoden mit hoher Auflösung analysieren kann; sie ermöglichen beispielsweise das Betrachten aller Atome, eventuell sogar der Elektronen, wenn man quantenmechanische Methoden anwendet (linke untere Ecke der Grafik). Andererseits zeigt Abbildung 2, für welche Fragestellungen man größere Systeme – dann aber mit geringerer Auflösung – simulieren muss (rechte obere Ecke der Grafik).

Bisher haben wir erklärt, dass man verschiedene Simulationsmethoden mit unterschiedlicher Auflösung für verschiedene Problemstellungen verwendet. Allerdings geht man bei Multiskalensimulationen über dieses Neben- oder Nacheinander hinaus: Hier versucht man komplexere Probleme zu erfassen, bei denen es gleichzeitig sowohl auf das Verständnis lokaler, mikroskopischer Eigenschaften (sie benötigen Methoden mit hoher Auflösung) als auch auf das Erfassen makroskopischer Prozesse (sie benötigen große Systeme und lange Simulationszeiten) ankommt. Oft sind dies Probleme, bei denen die Kenntnis der lokalen Eigenschaften für das Verständnis des Ver-

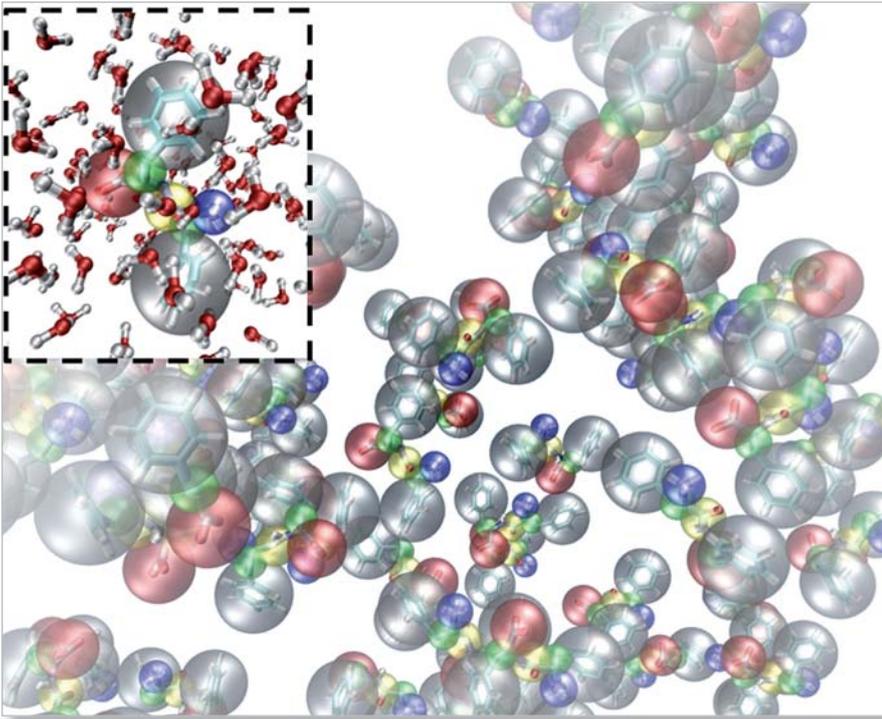


Abb. 3: Aggregierte Peptide, dargestellt in atomarer und vergrößerter (große Kugeln) Auflösung; kleines Bild: lokale Wasserstruktur um eines der Peptide.

haltens auf der großen Längen-/Zeitskala wichtig ist. Ein ganz typisches Beispiel dafür ist das Verhalten des Polymers Polycarbonat an einer Metallgrenzfläche, wie es bei der Verarbeitung in Gussformen vorkommt. Polycarbonat ist ein wichtiger Kunststoff für sehr viele optische Anwendungen, von CDs über Brillengläser bis hin zu Scheinwerfergehäusen (vgl. Abb. 1). Die Kettenmoleküle liegen in einem solchen Material typischerweise wie völlig ungeordnete, verknäuelte Wollfäden vor. Bei der Polymerisation, also dem Herstellungsprozess, ergeben sich je nach Verfahren unterschiedliche Kettenenden. Je nach Kettenende bekommt man die gewünschte dichte Wollknäuelstruktur oder, wenn die Enden zu stark an der Form kleben, eine sogenannte Polymerbürste, die im vorliegenden Fall zu sehr schlechten, das heißt kaum verwendbaren CDs führen würde (Abb. 1, Mitte). Um so etwas herauszufinden, muss man nahe der Oberfläche alle chemischen Details kennen, während weiter weg durchaus einfachere Modelle zur Beschreibung ausreichen.

In solchen Fällen benötigt man Computersimulationen, bei denen man verschiedene Simulationsmethoden mit unterschiedlicher Auflösung miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung kann jedoch nicht beliebig erfolgen. Vielmehr muss man sehr sorgfältig darauf achten, dass hierbei nicht die Gesetze der Physik verletzt und infolgedessen unphysikalische Effekte „produziert“ werden.

Dies soll anhand eines letzten Beispiels erläutert werden. In vielen biologischen Materialien spielen Aggregationsphänomene eine große Rolle. Das bedeutet, dass sich eine große Anzahl identischer oder ähnlicher Moleküle zu größeren Strukturen zusam-

menlagert. Dies tritt zum Beispiel in Peptidsystemen auf. Peptide sind kleine Kettenmoleküle aus Aminosäuren, den Bausteinen, aus denen auch alle Eiweißstoffe aufgebaut sind. Die Aggregation von Protein- oder Peptidketten spielt eine große Rolle bei sehr unterschiedlichen Phänomenen, zum Beispiel bei der Strukturbildung in Materialien wie Holz, Wolle, Seide oder Knochen, aber auch bei Krankheiten wie Alzheimer oder BSE (Bovine spongiforme Enzephalopathie).

Gerade bei diesen Peptiden sind Multiskalensimulationen sehr wichtig, da man einerseits für das Verständnis der lokalen Strukturen die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Molekülen genau kennen muss, man also eine hohe (atomare) Auflösung braucht. Andererseits laufen solche Aggregationsprozesse auf sehr großen Längen- und Zeitskalen ab, können also mit atomaren Methoden alleine nicht simuliert werden. Man benötigt gleichzeitig Simulationen mit verschiedenen Auflösungen (vgl. Abb. 3). Hier muss man nun dafür sorgen, dass diese Simulationen bei verschiedenen Auflösungen „zusammenpassen“. Sonst kann es passieren, dass die Strukturen, die man mit einer Auflösung erhalten hat (zum Beispiel die großen Peptidaggregate mit vergrößerten Simulationsmethoden), nicht mehr stabil sind, nachdem man sie an die andere Auflösung „weitergereicht“ hat. Anschließend könnte es passieren, dass die Peptidaggregate „auseinanderfallen“, wenn man sie mit atomaren Simulationen weiter untersucht, um die lokalen Eigenschaften aufzuklären.

Diese Verknüpfungen zwischen verschiedenen Simulationsmethoden bei verschiedenen Auflösungen (Multiskalensimulationen) werden in der Theoriegruppe am MPI-P untersucht und entwickelt: von der Quantenmechanischen Ebene über Simulationen mit atomistischer Auflösung und vergrößerte Modelle bis hin zu Methoden, bei denen keine Atome oder andere Teilchen mehr verwendet werden.

■ Summary

Computer simulations are a powerful modern tool which can be used in addition to an experimental and theoretical approach in order to explore the physical and chemical properties of both synthetic and biological materials. Due to the enormous complexity of many materials, questions often have to be addressed simultaneously on multiple length scales, from the microscopic level of atomic interactions to the macroscopic scale. To this end we develop multiscale simulation methods at the Max Planck Institute for Polymer Research where we systematically link simulation methods on several levels of resolutions.



Dr. Christine Peter

Christine Peter, Jahrgang 1974, hat Chemie und Mathematik an der Universität Freiburg studiert und das Studium im Jahr 1999 mit dem Chemie-Diplom und einer Diplomarbeit im Bereich Festkörper-NMR-

Spektroskopie abgeschlossen. Nach ihrer Promotion in Informatikgestützter Chemie an der ETH Zürich war sie mit einem DAAD-Stipendium als Post-Doc an den National Institutes of Health in Bethesda (USA) tätig. 2005 wechselte sie an das Max-Planck-Institut für Polymerforschung in die Gruppe von Prof. Kurt Kremer. Seit 2008 ist sie dort Leiterin einer Nachwuchsgruppe im Emmy Noether-Programm zum Thema „Entwicklung vergrößerter Simulationsmodelle zum Studium von Strukturbildung und Selbstaggregation in Peptidsystemen“.



Prof. Dr. Kurt Kremer

Kurt Kremer, Jahrgang 1956, studierte Physik an der Universität zu Köln. 1983 schloss er seine Promotion in Theoretischer Physik in Köln und dem Forschungszentrum Jülich ab. Nach einem weiteren

Jahr als wissenschaftlicher Mitarbeiter in Jülich und einem Forschungsaufenthalt bei der Exxon Research and Engineering Corporation, Annandale, New Jersey, USA, kam er 1985 an die Universität Mainz in die Gruppe von Prof. Kurt Binder, wo er 1988 habilitierte. Anschließend kehrte er an das FZ Jülich zurück. Er verbrachte mehrere ausgedehnte Forschungsaufenthalte bei Exxon Research, der UC Santa Barbara, der University of Minnesota und der Bayer AG. 1995 trat er der Max-Planck-Gesellschaft als sechster Direktor des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung bei.

■ Kontakt

Prof. Dr. Kurt Kremer
Theorie der Polymere
Max-Planck-Institut für Polymerforschung
Ackermannweg 10
D-55128 Mainz
Tel. +49 (0) 6131-379141
Email: kremer@mpip-mainz.mpg.de

Literatur

1. Krekeler K & Delle Site L. Lone pair versus bonding pair electrons: The mechanism of electronic polarization of water in the presence of positive ions. *J Chem Phys* 2008; 128: 134515.
2. Villa A, van der Vegt NFA, Peter C. Self-assembling dipeptides: including solvent degrees of freedom in a coarse-grained model. *Phys Chem Chem Phys* 2009; 11: 2068.
3. Reynwar B, Illya G, Harmandaris VA, Mueller M, Kremer K, Deserno M. Aggregation and vesiculation of membrane proteins by curvature-mediated interactions. *Nature* 2007; 447: 461.
4. Dünweg B, Schiller UD, Ladd AJC. Statistical mechanics of the fluctuating lattice Boltzmann equation. *Phys Rev E* 2007; 76: 036704.

Kernkräfte als Videospiel

Von Hartmut Wittig

Die kommerzielle Bedeutung von Computeranimation und Videospiele ist in den vergangenen Jahren enorm gewachsen. Im Zuge dessen stieg auch der Bedarf an immer realistischeren Visualisierungen, was zur Entwicklung spezieller Grafikprozessoren geführt hat, deren Rechengeschwindigkeit um ein Vielfaches größer ist als die von herkömmlichen Prozessoren. Mainzer Physiker versuchen nun, die enorme Rechenleistung solcher Grafikprozessoren für wissenschaftliche Anwendungen zu nutzen.

Computergrafik ist aus vielen Bereichen des öffentlichen und wissenschaftlichen Lebens nicht mehr wegzudenken: Moderne CAD-Verfahren („Computer Aided Design“) haben das traditionelle Reißbrett abgelöst. Die computergestützte Visualisierung physikalischer Vorgänge dient nicht allein nur dem detaillierten Sichtbarmachen eines Prozesses, sondern ergänzt die abstrakte Beschreibung durch die Mathematik. Auch in der Unterhaltungsindustrie hat sich die Computergrafik fest etabliert: Computeranimationsfilme, virtuelle Welten („Second Life“) und Spielekonsolen (Nintendo, Playstation, Xbox etc.) findet man heute in fast jedem Kinderzimmer. Realistische Visualisierungen erfordern allerdings einen riesigen Rechenaufwand, der mit den üblichen Mikroprozessoren, wie sie in Arbeitsplatzrechnern und Laptops eingebaut sind, nicht erreicht werden kann. Daher wurden entsprechend optimierte Grafikprozessoren (GPUs) entwickelt. Der rasante technologische Fortschritt in der computergestützten Bildgenerierung der vergangenen Jahre ist dabei nicht zuletzt durch die enormen Umsätze befeuert worden, die mit Animationsfilmen und Spielekonsolen erzielt werden konnten.

Wo so viel Rechenleistung zur Verfügung steht, stellt sich die Frage, ob sich solche Grafikprozessoren auch für wissenschaftliche Rechnungen einsetzen lassen. Hierbei steht also nicht die Nutzung der GPUs für die Bildgenerierung, sondern das Anzapfen ihrer schiereren Prozessorleistung für besonders rechenzeitintensive wissenschaftliche Anwendungen im Vordergrund. Eine solche Anwendung ist die numerische Untersuchung und Simulation der Kernkräfte. Die sichtbare Materie des Universums besteht neben den Elektronen der Atomhülle im Wesentlichen aus den Protonen und Neutronen des Atomkerns. Die kleinsten bekannten Bausteine der Materie sind jedoch die Quarks, die durch den Austausch von Gluonen zusammengehalten werden (engl. „glue“ = Leim). Zur Beschreibung der Kräfte zwischen Quarks und Gluonen kennt man

seit den 1970er Jahren eine Theorie, die sogenannte Quantenchromodynamik (QCD). Die Frage, ob sich die experimentell bestimmten Eigenschaften der Protonen und Neutronen aus der QCD herleiten lassen, ist allerdings nach wie vor eine wissenschaftliche Herausforderung, denn die komplexe mathematische Struktur der QCD hat sich bisher allen Lösungsverfahren mit Bleistift und Papier widersetzt.

Der spätere Nobelpreisträger Ken Wilson hat bereits 1974 die Grundlagen für eine numerische Behandlung der QCD auf Großrechnern geschaffen.¹ Er schlug damals vor, die QCD auf einer diskretisierten Raumzeit zu formulieren, ähnlich einem Kristallgitter. Die einzelnen Gitterplätze werden dabei mit den Quarkfeldern besetzt, während die Gluonen auf den Verbindungslinien (Kanten) zwischen einzelnen Gitterplätzen sitzen. Die Berechnung physikalischer Größen, wie beispielsweise der Masse des Protons, kann in dieser Formulierung durch eine sogenannte Monte-Carlo-Simulation erfolgen, ein Verfahren, das häufig auch in der Festkörperphysik angewendet wird.

Es fällt nicht schwer zu verstehen, dass eine präzise Berechnung physikalischer Größen nur dann gelingen kann, wenn das Gitter möglichst feinmaschig ist, denn schließlich ist die reale Raumzeit keine diskrete Punktmenge. Will man ein Proton in ein genügend großes Volumen einsperren und gleichzeitig den Gitterabstand möglichst klein halten, braucht man eine große Zahl von Gitterplätzen, was natürlich mit einem hohen Rechenaufwand einhergeht. Mit der derzeit verfügbaren Rechner-Hardware lassen sich Systeme mit zehn Millionen Gitterpunkten behandeln, wobei der Gitterabstand etwa 1/20 der Ausdehnung eines Protons beträgt.

Derartige Systeme sind zu groß, als dass sie von einzelnen Prozessoren bewältigt werden könnten. Daher muss man Parallelrechner einsetzen: Hierbei wird das Gesamtsystem in viele verschiedene Untergitter aufgeteilt, die jeweils in den Hauptspeicher eines einzelnen Prozessors passen. Allerdings sind diese Untergitter nicht unabhängig voneinander, so dass gelegentlich die Information eines Untersystems mit der des Nachbarprozessors über ein schnelles Kommunikationsnetzwerk ausgetauscht werden muss. Wie effizient ein solches Verfahren ist, hängt ganz wesentlich davon ab, wie gut Netzwerkgeschwindigkeit und Prozessorleistung aufeinander abgestimmt sind. Eine Maschine, bei der die Balance zwischen verschiedenen Hardware-Komponenten realisiert ist,



Klaus Weindel

Abb. 1: Das Cluster „Wilson“ am Institut für Kernphysik.

ist das kürzlich eingeweihte Cluster „Wilson“ am Institut für Kernphysik (Abb. 1). Dieses Cluster besteht aus insgesamt 2.240 Prozessorkernen, die über ein Infiniband-Netzwerk miteinander gekoppelt sind.² Die Rechengeschwindigkeit eines einzelnen Prozessors für Anwendungen, wie sie in der Gitter-QCD typisch sind, beträgt dabei 1,65 GFlop/s (engl.: Giga-floating-point-operations per second = Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde). Damit erreicht unser Anwendungscode zirka 20 Prozent der theoretisch möglichen Rechenleistung eines Prozessorkerns. Das gesamte Cluster hat eine Leistung von 3.700 GFlop/s. Berücksichtigt man die Anschaffungskosten von 1,1 Millionen Euro, so muss man rund 300 Euro pro GFlop/s bezahlen. Damit liegt „Wilson“ in der Spitzengruppe, was Kosteneffizienz betrifft.

Das „Wilson“-Cluster und auch die anderen Hoch- und Höchstleistungsrechner an Universitäten und nationalen Rechenzentren basieren auf Prozessoren (CPUs), die sich nur wenig von denen unterscheiden, die man in handelsüblichen Arbeitsplatzrechnern findet. Da der Rechenzeitbedarf je nach wissenschaftlicher Fragestellung und erforderlicher Genauigkeit die derzeitigen Kapazitäten um mehrere Größenordnungen übersteigen kann, liegt es nahe, die hohen Rechenleistungen von Grafikprozessoren für die Gitter-QCD nutzbar zu machen. In einem gemeinsamen Projekt mit der Arbeitsgruppe von Prof. Elmar Schömer vom Institut für Informatik untersucht der Arbeitskreis „Gitter-QCD“ am Institut für Kernphysik derzeit, inwieweit sich Grafikprozessoren für typische QCD-Anwendungen eignen.

Als Standard-„Benchmark“ dient hierfür eine Matrix-Vektor-Multiplikation. Im Rahmen der Gitter-QCD beschreibt die Matrix die physikalische Wechselwirkung zwischen den Quark- und Gluonfeldern. Die Dimension der Matrix ist riesig: Die Zahl der Spalten ist gleich der Zahl aller Gitterpunkte multipliziert mit weiteren Quantenzahlen, die den Zustand eines Quarks charakterisieren. Benutzt man das oben genannte Beispiel von zehn Millionen Gitterpunkten, so hat die Matrix 1,44 mal 10^{16} Elemente. Allerdings sind die meisten davon Null, denn die Kräfte zwischen den Quarks wirken entweder am gleichen Ort oder nur zwischen benachbarten Gitterpunkten. In der Fachsprache der Mathematik nennt man ein solches Objekt eine dünn besetzte Matrix. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, eine konkrete Wahl dieser Matrix der Quark-Gluon-Wechselwirkung anzugeben. In unserem Projekt benutzen wir die ursprüngliche Formulierung von Ken Wilson, die unter dem Namen „Wilson-Dirac-Operator“ bekannt ist. Im Laufe einer typischen numerischen Simulation der Gitter-QCD benötigen die Anwendungen des „Wilson-Dirac-Operators“ mehr als 70 Prozent der gesamten Rechenzeit. Folglich konzentrieren sich alle Versuche, numerische Simulationen der Gitter-QCD zu beschleunigen, auf die Optimierung des Wilson-Dirac-Operators.

Ein wesentliches Architekturmerkmal von Grafikprozessoren ist die große Anzahl von Prozessorkernen, die auf den derzeit gängigen Plattformen zwischen 128 und 240 variieren kann. Zwar gibt es auch bei herkömmlichen CPUs einen deutlichen Trend zu Mehrkernprozessoren, doch nehmen sich die han-

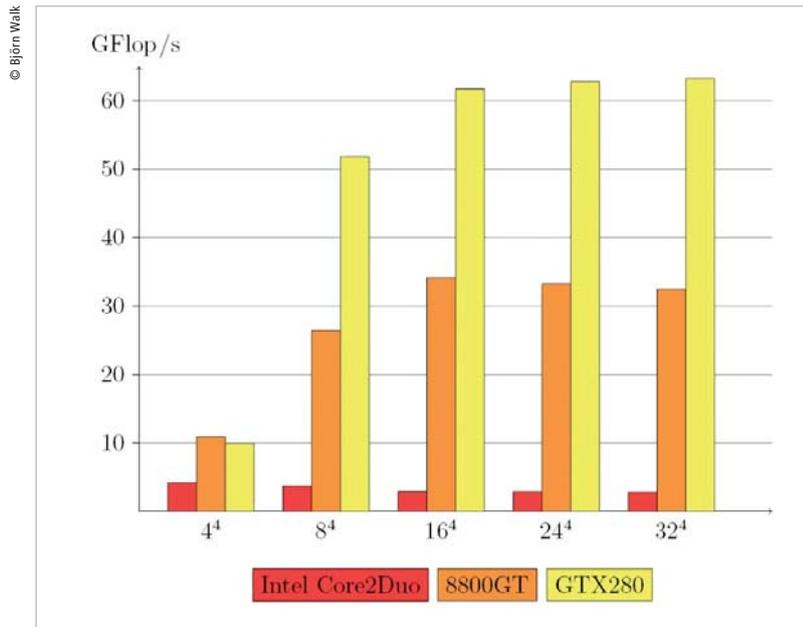


Abb. 2: Erzielte Rechengeschwindigkeit bei der Multiplikation mit dem „Wilson-Dirac-Operator“ für verschiedene Gittergrößen. Verglichen werden herkömmliche Prozessoren (rot) und verschiedene Grafikkarten (orange und gelb). GFlop/s = Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde.

delsüblichen Intel- oder AMD-Chips mit typischerweise vier Kernen recht bescheiden neben den GPUs aus. Obwohl sich GPUs auch durch eine sehr hohe Speicherbandbreite auszeichnen, die um mehr als eine Größenordnung höher als bei normalen Prozessoren sein kann, erweist sich der Zugriff auf den Hauptspeicher als eines der größten Hindernisse für eine effiziente Programmierung.

Wer sich mit der Programmierung von Grafikprozessoren befasst, stellt sehr schnell fest, dass der damit verbundene Aufwand erheblich größer ist als für herkömmliche Prozessoren. Der Grund liegt darin, dass Standard-Programmiersprachen wie C oder C++ (von Fortran ganz zu schweigen) nicht zur Verfügung stehen. Bis vor Kurzem erforderten daher selbst einfachste Operationen, wie die Addition oder Multiplikation zweier Zahlen, viele Zeilen Programmcode. Glücklicherweise haben einige Hersteller damit begonnen, Programmierumgebungen für ihre Grafik-Hardware anzubieten, die denen einer Standardsprache gleichen. Beispielsweise hat die Firma Nvidia die Programmierplattform CUDA („Compute Unified Device Architecture“) entwickelt, die auch die Basis für unser Projekt bildet. Die Syntax von CUDA ist ähnlich der Programmiersprache C, erlaubt jedoch, einzelne Hardware-Komponenten des Grafik-Prozessors direkt anzusteuern. Trotz dieser Vereinfachung braucht es einige Übung, bis es gelingt, einen effizienten Code für GPUs zu schreiben. Grafikprozessoren verfügen über besondere Mechanismen zum effizienten Zugriff auf zusammenhängende Speicherbereiche. In der Computergrafik ergibt sich die Notwendigkeit hierfür aus der Verwendung von sogenannten Texturen (Pixelbildern), durch die der Detailgrad von dreidimensionalen Bildern erhöht wird. Die Verwendung von Texturen stellt sicher, dass der relativ langsame Zugriff auf den Hauptspeicher die Rechenleistung nicht drastisch vermindern kann. Ein wesentlicher Teil

der Programmierarbeit im Rahmen unseres Projekts bestand daher in der Übertragung der Datenzugriffe für die Quark- und Gluon-Felder der QCD auf den Textur-Speicher.

Ein konkretes Beispiel, das den Unterschied zwischen der Optimierung von CUDA-Code im Vergleich zu Simulationsprogrammen in C illustriert, ist der Speicherzugriff auf das Gluon-Feld. Gluon-Felder werden durch unitäre 3x3 Matrizen dargestellt. Eine solche Matrix besteht aus neun komplexen Zahlen, was insgesamt 18 reellen Zahlen entspricht. Da die Matrix unitär ist, sind die Vektoren, die den drei Zeilen entsprechen, nicht linear unabhängig. Auf einer herkömmlichen CPU holt das Programm alle 18 Zahlen aus dem Hauptspeicher, was aufgrund der relativ langsamen Rechengeschwindigkeit im Vergleich zum Speicherzugriff zu keiner Verzögerung führt. Auf einer Grafikkarte sind die Gewichte gerade andersherum verteilt. Wenn möglich, sollte daher der Zugriff auf den Hauptspeicher vermieden oder zumindest die Datenmenge reduziert werden. Dafür kann man leicht in Kauf nehmen, dass die komplette Information erst mit den aus dem Speicher geholten Daten neu berechnet werden muss. Für unser Projekt hat es sich als vorteilhaft erwiesen, nur die ersten beiden Zeilen der unitären 3x3 Matrix des Gluonfelds aus dem Speicher zu holen und danach die dritte Zeile aus den beiden ersten zu rekonstruieren. Die Reduktion der Datenmenge, die aus dem Hauptspeicher geholt werden muss (12 statt 18 reelle Zahlen) führt dabei zu einem erheblichen Netto-Gewinn an Rechengeschwindigkeit für den Wilson-Dirac-Operator.

Die hohe nominelle Rechenleistung von Grafikkarten wird ganz wesentlich dadurch erreicht, dass einzelne Programmteile (sogenannte „threads“), die unabhängig voneinander ablaufen können, auf verschiedene Prozessorkerne verteilt und parallel abgearbeitet werden. Bei der Programmierung des Wilson-Dirac-Operators haben wir versucht, jedem Gitterpunkt einen solchen Thread zuzuordnen und die Zahl der Instruktionen, die unabhängig vom benachbarten Gitterpunkt ablaufen können, zu maximieren.

Das Ergebnis unserer Bemühungen lässt sich in Abbildung 2 ablesen. Hier wird die Rechengeschwindigkeit für den Wilson-Dirac-Operator auf einer herkömmlichen CPU (Intel Core2Duo, 2,13 GHz) mit zwei verschiedenen Grafikkarten verglichen, der Nvidia 8800GT und der Nvidia GTX280. Dabei wird auch untersucht, wie sich die Gittergröße auf die Rechengeschwindigkeit auswirkt. Während die Intel-CPU eine Rechenleistung zwischen 3 und 4 GFlop/s erreicht, schaffen Grafikprozessoren die beeindruckende Spitzenleistung von mehr als 60 GFlop/s. Interessant ist dabei auch, dass GPUs ihre enorme Leistung vorwiegend auf größeren Gittern ausspielen, denn für die kleinste betrachtete Systemgröße von 4⁴ liegt das Feld wesentlich dichter beisammen. Dieses Verhalten

lässt sich dadurch verstehen, dass bei kleinen Gittern die Rechenleistung durch den Speicherzugriff dominiert wird, der auf den GPUs relativ ineffizient ist.

Grafikprozessoren können also tatsächlich für extrem rechenzeitintensive wissenschaftliche Anwendungen eingesetzt werden. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass Universitätsrechenzentren künftig vorwiegend mit Systemen aus GPUs bestückt werden, denn trotz der beeindruckenden Rechengeschwindigkeit ist der Programmieraufwand teilweise erheblich. Die Gitter-QCD mit ihren einfach strukturierten mathematischen Objekten ist vermutlich einer Programmierung auf GPUs besonders zugänglich. Für Anwendungen in der Klima- und Materialforschung mag das anders sein.

Obwohl man vom Rechenbedarf der Unterhaltungsindustrie profitiert, wird die Gitter-QCD durch den Einsatz von hochgezüchteten Grafikprozessoren nicht unbedingt zum Kinderspiel. Denn die hier gezeigten Ergebnisse sind alle auf einem einzelnen System ohne Parallelisierung realisiert worden. Das heißt, dass ein Datentransfer über Prozessorgrenzen hinweg, wie er auf dem „Wilson“-Cluster stattfindet, nicht berücksichtigt wurde. Kommerzielle Netzwerke sind aber noch zu langsam, um mit der hohen Rechengeschwindigkeit von GPUs mithalten zu können. Nachteilig ist auch, dass viele GPUs bislang nur mit 32-Bit-Genauigkeit rechnen können, was zwar für die meisten Grafikanwendungen völlig genügt (es reicht, wenn man den Gegner im Ballerspiel nur schemenhaft erkennt), für wissenschaftliche Zwecke aber nicht ausreicht. Ein vielversprechender Ansatz für die Zukunft ist daher die Entwicklung eines Systems aus einer Kombination von Grafik- und herkömmlichen Prozessoren, das die jeweiligen Vorteile der Hardware-Komponenten vereint. Solche integrierten Systeme werden bereits von einigen Herstellern angeboten.

■ Summary

Computer animation and video games are a hugely lucrative market worldwide. The ever increasing demand for more sophisticated visualization has driven the development of specialized graphics hardware which achieves processing speeds far exceeding those of "ordinary" processors found in workstations and servers. The article describes how the enormous computing power of graphics processors can be exploited for scientific applications. Here we focus on numerical simulations of the strong nuclear force via a technique known as lattice QCD.

Peter Pulkowski



Univ.-Prof. Dr. Hartmut Wittig

Hartmut Wittig, geboren 1963, studierte von 1982 bis 1985 Chemie in Mainz und von 1985 bis 1989 Physik in Mainz und Oxford. Die Promotion erfolgte 1992 an der Universität Hamburg, wo er 1998 auch habilitiert wurde. Er absolvierte Forschungsaufenthalte in Southampton und am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Zeuthen, bevor er von 1996 bis 2000 als „Advanced Fellow“ an der Universität Oxford tätig war. Bis zu seiner Berufung nach Mainz im Jahr 2005 auf eine Professur für theoretische Kernphysik war er permanenter wissenschaftlicher Mitarbeiter bei DESY in Hamburg.

■ Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Hartmut Wittig
 Institut für Kernphysik
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 D-55099 Mainz
 Tel. +49 (0) 61 31-39 26 808
 Email: wittig@kph.uni-mainz.de

Literatur

1. Wilson KG. Confinement of Quarks. Phys Rev 1974; D10: 2445
2. <http://www.kph.kph.uni-mainz.de/T/644.php>

Die Analyse atmosphärischer Strömungen

Von Sebastian Limbach, Marcus Marto, Patrick Jöckel, Elmar Schömer und Heini Wernli

Die Atmosphäre unserer Erde ist ständig in Bewegung, und mit den sich in Bewegung befindenden Luftmassen werden auch andere Gase und Partikel durch die Atmosphäre transportiert. Die Verfolgung solcher Luftpakete mithilfe effizienter Software ist für unterschiedliche Fragestellungen der Atmosphärenwissenschaften von Interesse, beispielsweise für die Vorhersage der Ausbreitung radioaktiver Substanzen nach einem Störfall.

Bei der sogenannten Lagrangeschen Betrachtungsweise von atmosphärischen Strömungen wird die Atmosphäre in „Luftpakete“ unterteilt und deren Bewegung in Form von Trajektorien berechnet, analysiert und visualisiert. Dabei wird angenommen, dass zwischen den Luftpaketen in einem Zeitraum von einigen Tagen kein oder ein vernachlässigbar schwacher Austausch stattfindet. Eine Trajektorie ist festgelegt durch eine Startposition und eine Startzeit; sie besteht aus einer Reihe von Daten, die die Positionen zu diskreten zukünftigen oder vorherigen Zeitpunkten angeben, und somit die zeitliche Bewegung des Luftpaketes beschreiben. Diese Positionsdaten werden anhand von Windfeldern berechnet, die von einem numerischen Modell oder von sogenannten meteorologischen „Analysen“ stammen. In den letzten 20 Jahren wurden unabhängig voneinander verschiedene Softwarepakete zur Berechnung von Trajektorien entwickelt und in einer sehr großen Zahl von Studien zu den unterschiedlichsten Fragestellungen eingesetzt, so dass sich das Lagrangesche Konzept als ein essentielles Werkzeug zur Untersuchung von atmosphärischen Strömungen etabliert hat. Beispiele sind HYSPLIT¹, FLEXTRA² und das auch in Mainz intensiv verwendete und aktuell von uns weiterentwickelte Lagrangian Analysis Tool LAGRANTO³. Beim Design dieser Programme standen bisher die flexible Einsatzfähigkeit und die Nutzerfreundlichkeit

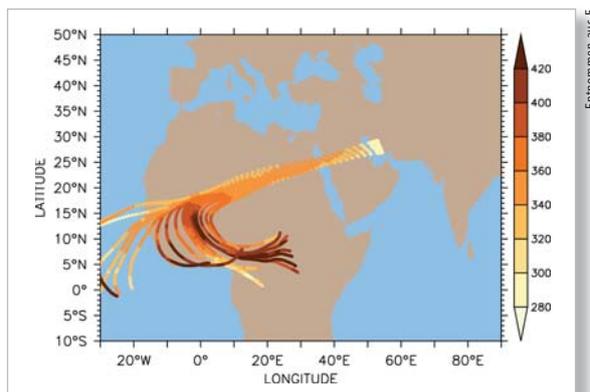
im Vordergrund – der numerischen Effizienz wurde vergleichsweise wenig Beachtung geschenkt.

Trajektorienrechnungen in den Atmosphärenwissenschaften

Eine klassische Anwendung von Trajektorien ist die Ausbreitungsrechnung im Falle von bodennahen Emissionen, zum Beispiel aufgrund eines chemischen oder nuklearen Unfalls. Dabei steht die Frage im Vordergrund, welche Regionen von einer Emission an einem bestimmten Unfallort zu einem zukünftigen Zeitpunkt betroffen sind. Heute werden für diese Fragestellung jedoch meist komplexere Modelle eingesetzt, bei denen die Mischungsprozesse in der turbulenten Grenzschicht explizit berücksichtigt werden können. Eine damit verwandte interessante Anwendung von LAGRANTO war die Untersuchung der Luftmassenherkunft, nachdem in der Nähe von Zürich erhöhte Werte von radioaktivem Jod gemessen worden waren. Die Trajektorienrechnungen zeigten, dass das Jod mit großer Wahrscheinlichkeit von den Wiederaufbereitungsanlagen in La Hague und Sellafield stammte. In den nächsten Abschnitten wird eine Auswahl aktueller Projekte am Max-Planck-Institut für Chemie und am Institut für Physik der Atmosphäre in Mainz kurz vorgestellt. Trajektorienrechnungen spielen dabei stets eine zentrale Rolle.

Ein erstes Projekt befasst sich mit der Interpretation von flugzeuggetragenen chemischen Messungen. Die Region um die Tropopause ist aus der Sicht der Atmosphärenchemie interessant, da hier stratosphärische und troposphärische Luftmassen mit zum Beispiel sehr unterschiedlichen Ozonkonzentrationen aneinander grenzen. Im Rahmen des Projektes CARIBIC⁴ (Civil Aircraft for the Regular Investigation of the atmosphere Based on an Instrument Container) werden an Bord eines Lufthansa Passagierflugzeuges regelmäßig Messungen der Luftzusammensetzung in dieser Region durchgeführt. Zur Interpretation der Daten werden ausgehend vom Flugweg, also dem Punkt der Messung, zunächst Rückwärtstrajektorien berechnet (Abb. 1). Entlang dieser Trajektorien kann dann die chemische Evolution der Luftmassen mithilfe eines fotochemischen Modells vom Startpunkt der Trajektorie bis hin zum Messpunkt rekonstruiert werden. Dabei werden die Anfangsbedingungen, also die ursprüngliche chemische Zusammensetzung der Luft am Ausgangspunkt der Trajektorie, mit einem globalen Atmosphärenchemie- und Klimamodell abgeschätzt. Die Methode erlaubt eine quantitative

Abb. 1: Die Abbildung zeigt ein Trajektorienbündel (im Januar 2000) aus der Sub-Sahelzone, welches über dem Persischen Golf, dem Punkt der Flugzeugmessung, konvergiert (die Farbe der Trajektorie zeigt die Druckhöhe in Hektopascal).



Entnommen aus 5

Trennung der Beiträge von Transport, Mischung und chemischer Umwandlung auf die Zusammensetzung der Luft am Messpunkt und gibt Aufschlüsse über die Quellenregion der Bestandteile.⁵

In einem zweiten Projekt werden sogenannte „Warm Conveyor Belts“ (WCBs) untersucht. Diese stellen kohärente Bündel von Trajektorien dar, die typischerweise innerhalb von ein bis zwei Tagen aus der subtropischen Grenzschicht (das heißt aus einer Höhe von ungefähr 500 Metern und einer geographischen Breite von etwa 35°N) entlang von Kaltfronten in die obere Troposphäre (das heißt auf eine Höhe von ungefähr acht bis zehn Kilometern bei 50 bis 65°N) aufsteigen. Diese Luftmassen sind sehr feucht, so dass entlang (fast) des ganzen Weges Wasserdampf kondensiert und sich Wolken und Niederschlag bilden. WCBs sind die für den Niederschlag in den mittleren Breiten wichtigsten atmosphärischen Strömungen. Für die Chemie der Atmosphäre sind sie von Bedeutung, da sie beispielsweise Abgase bis in die obere Troposphäre oder sogar bis in die untere Stratosphäre transportieren können. Aktuell wird die Frage untersucht, welche Rolle WCBs bei der Anregung von sogenannten Rossby-Wellen in der Atmosphäre spielen. Diese bestimmen das Wettergeschehen in den mittleren Breiten auf einer Zeitskala von ein bis zehn Tagen. Die korrekte Modellierung ihrer Anregung und Verstärkung ist entscheidend für die Qualität der Wettervorhersagen auf diesen Zeitskalen.

Ein drittes Projekt beschäftigt sich mit der Untersuchung erhöhter bodennaher Ozonkonzentrationen. Während die Ozonschicht in der Stratosphäre das Leben auf der Erde vor zu starker UV-Strahlung schützt, sind hohe Ozonwerte in Bodennähe gesundheitsschädlich. Fotochemische Reaktionen in der Atmosphäre können jedoch besonders an warmen Sommertagen dazu führen, dass in industrialisierten Regionen hohe Ozonwerte auftreten können. Aber auch in wenig belasteten Gebieten kann die bodennahe Ozonkonzentration während einiger Stunden oder Tage auf kritische Werte ansteigen. Ein dafür möglicherweise verantwortlicher Prozess sind stratosphärische Intrusionen, in denen ozonreiche stratosphärische Luft innerhalb von wenigen Tagen zum Boden absinkt. In einer Kooperation mit Wissenschaftlern aus den USA sind wir dabei, die Bedeutung dieses Prozesses in entlegenen Regionen Nordamerikas zu quantifizieren.

Trajektorienrechnungen aus Sicht der Informatik

Ein wichtiges Qualitätskriterium von Software ist die Effizienz. Für die flexible Benutzung eines Programms ist die Zeit, die die Berechnung der Ergebnisse in Anspruch nimmt, oft von entscheidender Bedeutung. Auch bei der Trajektorienberechnung würden sich wesentlich flexiblere und dynamischere Einsatzmög-

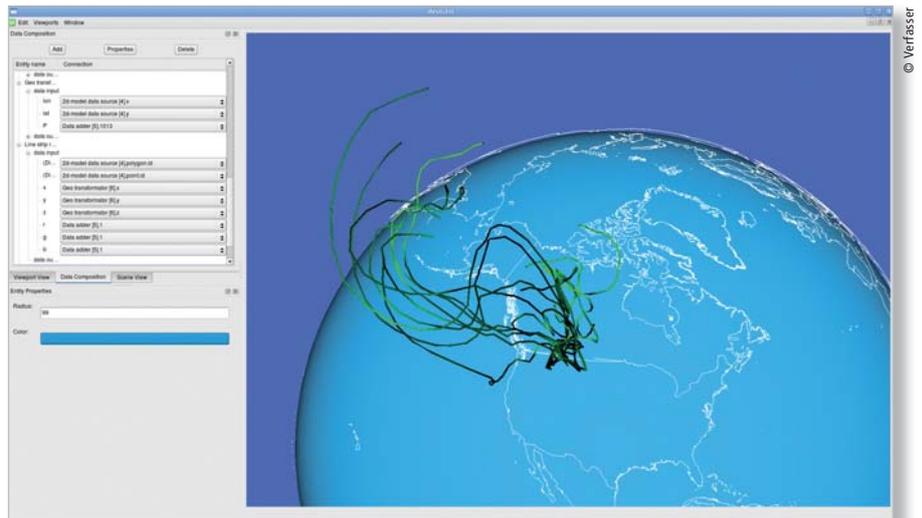


Abb. 2: 3D-Visualisierung von Trajektorien, gestartet vom Yellowstone National Park, durch das INSIGHT-Programm (die Farbe kennzeichnet die potenzielle Vortizität (PV)).

lichkeiten bieten, müsste man auf einzelne Ergebnisse statt mehrerer Stunden, Tage oder sogar Monate nur Minuten warten.

Die Effizienz von Software kann dabei durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Bei der Berechnung von Trajektorien ist der beschränkende Faktor weniger die Komplexität der Verfahren als vielmehr die große Menge der benötigten Daten. Diese liegen in der Regel auf einem Massenspeicher vor, typischerweise auf einer Festplatte. Bevor ein Programm mit diesen Daten effizient arbeiten kann, müssen sie in den wesentlich schnelleren, aber auch kleineren Arbeitsspeicher des Computers geladen werden. Die Zugriffszeiten liegen bei Festplatten üblicherweise im Bereich von einigen Millisekunden, beim Arbeitsspeicher hingegen im Nanosekundenbereich.

Während der Berechnung von Trajektorien benötigt das Programm Informationen über die Windfelder und über alle Messgrößen, die zusätzlich entlang jeder Trajektorie betrachtet werden sollen. Die Gesamtmenge dieser Daten wird bestimmt durch die Größe des Untersuchungsgebiets sowie durch die räumliche und zeitliche Auflösung der Messdaten. Im Fall der bodennahen Ozonkonzentrationen in Nordamerika beschränkt sich das Gebiet auf die nördliche Hemisphäre. Die Daten liegen alle sechs Stunden mit einer horizontalen Auflösung von einem halben Grad geographischer Länge beziehungsweise Breite auf 90 Höhenschichten vor. An jedem Gitterpunkt werden jeweils ein aus drei Komponenten bestehender Windvektor, der Bodendruck sowie drei zusätzliche Messwerte gespeichert. Insgesamt ergibt sich eine Datenmenge von über 300 Megabyte pro erfasstem Zeitpunkt. Bei einem Beobachtungszeitraum von mehreren Monaten werden schnell Datenmengen erreicht, die nicht mehr vollständig im Arbeitsspeicher gehalten werden können. Die Art und Weise des Nachladens der Daten bestimmt somit die Gesamtlaufzeit des Programms zur Trajektorienberechnung. Für die Untersuchung der Ozonwerte werden alle

sechs Stunden Gruppen von Trajektorien bei verschiedenen Messstationen gestartet (vgl. Abb. 2), insgesamt in dieser Studie zirka 10.000 Trajektorien. Die Bewegungen der Luftteilchen wurden für jede Gruppe separat zehn Tage lang verfolgt. Diese bisherige Vorgehensweise erforderte das mehrmalige Laden derselben Daten von der langsamen Festplatte.

Daher bieten sich zur Verbesserung der Gesamtlaufzeit zwei Möglichkeiten an: Als erstes kann man die Anzahl der Ladevorgänge auf ein Minimum beschränken. Jede Datei sollte möglichst nur ein einziges Mal in den Speicher geladen werden. Zweitens kann man die zu ladenden Daten auf die nähere Umgebung der aktuellen Trajektorienpositionen beschränken. Diese Umgebung muss jedoch für jeden Zeitschritt neu berechnet werden. Sie kann im Laufe einer Trajektorienrechnung sehr stark zunehmen und sich eventuell auf den gesamten Datenbereich erstrecken. Zunächst wurde der erste Optimierungsansatz verfolgt, wodurch es gelungen ist, bei der Untersuchung der bodennahen Ozonwerte die Laufzeit der

Trajektorienberechnungen von mehreren Stunden auf wenige Minuten zu reduzieren. Der Anteil von Dateizugriffen an der Gesamtlaufzeit des neuen Systems liegt bei etwa 98 Prozent. Da jede Datei nur genau ein Mal eingelesen wird, haben wir unser erstes Optimierungsziel erreicht. Offen bleibt, ob sich durch eine Realisierung des zweiten Optimierungsansatzes eine weitere Steigerung der Performance erzielen lässt.

Summary

In atmospheric sciences, trajectories are a common tool for tracing the movement of "air parcels". Up to now, existing software tools often require days or even months for the calculation of the typically large number of trajectories. Interdisciplinary collaboration enabled us to optimize the existing methods and to considerably improve their performance. In this article we present research projects where the calculation of trajectories is essential, and then we describe in detail possible optimizations of the calculation process and software.

INSIGHT – Ein neuartiges Werkzeug zur Visualisierung von Wetterdaten

Auf Grundlage einer Bachelorarbeit zur Visualisierung von dreidimensionalen Isoflächen, so nennt man die Bereiche eines Datenvolumens, die den gleichen Wert besitzen, entsteht derzeit ein neuartiges 3D-Visualisierungswerkzeug (Abb. 3). Die Software ist auf Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit ausgelegt und soll in enger Zusammenarbeit mit den Anwendern weiterentwickelt werden. Sie ist als Ergänzung zu bestehenden Visualisierungstools (beispielsweise HIPHOP und Vis5d) gedacht und soll eine Plattform für neuartige Darstellungstechniken bieten. Bereits geplant sind Erweiterungen zur Erprobung alternativer Eingabegeräte sowie die Unterstützung von stereoskopischen Darstellungen.

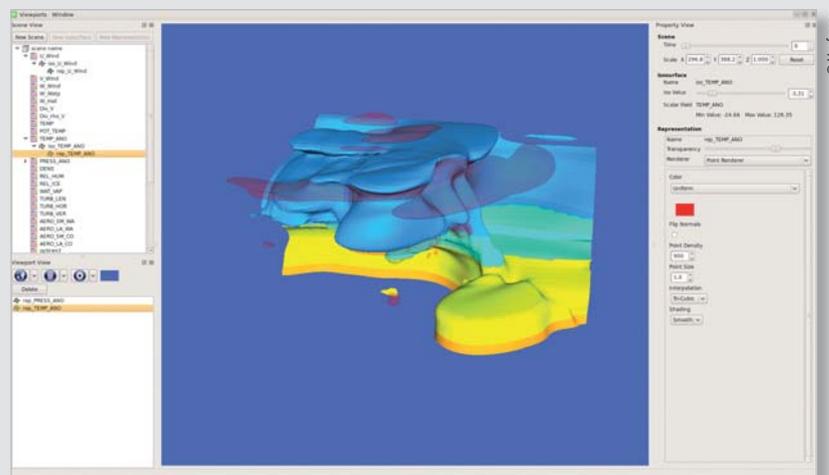


Abb. 3: Visualisierung von 3D-Isoflächen mit unterschiedlicher Färbung und Transparenz durch das INSIGHT-Programm.

Literatur

1. Draxler RR & Hess GD. Description of the Hysplit_4 modeling system. Report No. NOAA Tech Memo ERL ARL-224, December 1997. Prepared by Air Resources Laboratory, NOAA, Silver Spring, MD.
2. Stohl A & Seibert P. Accuracy of trajectories as determined from the conservation of meteorological tracers. Quart J Roy Meteor Soc 1998; 124: 1465-1484.
3. Wernli H & Davies HC. A Lagrangian-based analysis of extratropical cyclones. I: The method and some applications. Quart J Roy Meteor Soc 1997; 123: 467-489.
4. www.caribic-atmospheric.com
5. Riede H, Jöckel P, Sander R. Quantifying atmospheric transport, chemistry, and mixing using a new trajectory-box model and a global atmospheric-chemistry GCM, Geosci Model Dev Discuss 2009; 2: 455-484. <http://www.geosci-model-dev-discuss.net/2/455/2009/>



Vlnr: Univ.-Prof. Dr. Elmar Schömer, Sebastian Limbach, M.Sc., Dr. Patrick Jöckel, Marcus Marto, Univ.-Prof. Dr. Heini Wernli.

Dr. Patrick Jöckel

Patrick Jöckel studierte Physik an der Technischen Universität Darmstadt. Im Jahr 2000 promovierte er an der Universität Heidelberg und am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz bei Prof. Dr. Ulrich Platt und Prof. Dr. Paul Crutzen über Radiokohlenstoffmonoxid (^{14}CO) in der Atmosphäre. Seit 2008 ist er Gruppenleiter der Gruppe „Erdsystemmodellierung“ am Max-Planck-Institut für Chemie. Die Forschungsschwerpunkte der Gruppe beinhalten die Entwicklung und Anwendung eines umfassenden skalenübergreifenden Erdsystemmodells zur Untersuchung der Atmosphärenchemie und globaler Stoffkreisläufe sowie von Lagrangeschen Methoden in der Modellierung atmosphärischer Transportprozesse.

Univ.-Prof. Dr. Heini Wernli

Heini Wernli studierte Physik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich. In der Gruppe von Prof. Dr. Huw Davies an der ETH Zürich promovierte und habilitierte er mit Untersuchungen zur Dynamik und Struktur von außertropischen Tiefdruckgebieten. Seit Herbst 2003 ist er Professor für Theoretische Meteorologie am Institut für Physik der Atmosphäre der Universität Mainz. Die Forschungsschwerpunkte in seiner Arbeitsgruppe sind: Dynamik und Vorhersagbarkeit von Wettersystemen in den mittleren Breiten (Tiefdruckgebiete, Konvektion), globale Transportprozesse (Wasserkreislauf, Spurengase) sowie Anwendungen im Bereich der numerischen Wettervorhersage.

Sebastian Limbach, M.Sc.

Sebastian Limbach studierte Informatik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken. Er arbeitet seit 2009 im Rahmen des Schwerpunktes für Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften als Doktorand und wissenschaftlicher Mitarbeiter am INSIGHT-Projekt und an weiteren Projekten mit Bezug zu den Atmosphärenwissenschaften.

Marcus Marto

Marcus Marto studiert Physik und Informatik an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz. Im Rahmen seiner Informatik-Bachelorarbeit hat er am INSIGHT-Projekt mitgearbeitet und ist weiterhin als wissenschaftlicher Mitarbeiter für das Projekt tätig.

Univ.-Prof. Dr. Elmar Schömer

Elmar Schömer, Jahrgang 1963, studierte Informatik an der Universität des Saarlandes. Nach seiner Promotion (1994) und seiner Habilitation (1999) war er als Senior Researcher im Bereich Computational Geometry am Max-Planck-Institut für Informatik tätig. Seit Oktober 2002 ist er Professor für Praktische Informatik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Computergrafik sowie effiziente geometrische Algorithmen und Optimierungsmethoden.

■ Kontakt

Sebastian Limbach, M.Sc.
 Institut für Informatik
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Staudingerweg 9
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 22 454
 Email: limbach@uni-mainz.de

Packen wie die Weltmeister

Von Johannes Josef Schneider und Elmar Schömer

Jeder kennt das Problem: Die Einkäufe vom Wochenende sind auf dem Parkplatz des Supermarktes im Kofferraum eines Autos zu verstauen. Aber wie packt man nun die verschiedenen Sachen, die man gekauft hat, so hinein, dass alles reinpasst und dass auch nichts beschädigt wird? Genauso ergeht es einem, wenn ein Koffer vor einer Flugreise zu packen ist oder wenn man mit dem Auto in Urlaub fährt und möglichst viel in den Kofferraum packen will.

Ähnliche Packprobleme treten auch in der Wirtschaft auf, zum Beispiel bei Transportunternehmen, wie etwa Paketdiensten, die möglichst viele Pakete in einem kleinen Lastwagen unterzubringen haben und dabei auch die Auslieferungreihenfolge beachten müssen. Schließlich soll ja der Lieferant nicht den halben Lastwagen ausräumen müssen, um an das gewünschte Paket zu gelangen. Weitere Packprobleme ergeben sich in der Textilindustrie: Aus Stoffbahnen müssen nach vorgegebenen Schnittmustern Teile ausgeschnitten werden, die dann später zu Kleidung vernäht werden. Dabei soll die Menge des Verschnitts minimiert werden. Analoge Probleme gibt es in der Holz und in der Metall verarbeitenden Industrie.

Wie bei vielen anderen Problemstellungen auch lohnt es sich im industriellen Bereich fast immer, derartige Optimierungsprobleme nicht selbst von Hand anzugehen, sondern sie vom Computer bestmöglich lösen zu lassen; so kann möglichst billig produziert oder ausgeliefert werden. Dazu benötigt man natürlich einen ausgefeilten Optimierungsalgorithmus, der eine möglichst gute Lösung für das vorgegebene Optimierungsproblem liefert. Aber leider sind Packprobleme zumeist sehr komplex, so dass die Entwicklung eines derartigen Algorithmus eine große Herausforderung darstellt.

In der Physik und Mathematik beschäftigt man sich ebenfalls mit verschiedensten Packproblemen, die wissenschaftlich relevant sind. Derzeit untersucht beispielsweise Diplomandin Sebiha Sahin, wie man gleich große Kugeln möglichst dicht packen kann oder wie viele Kugeln maximal um eine Kugel platziert werden können, so dass sie diese berühren; Letzteres ist als Kissing Number Problem bekannt. Derartige Probleme betrachtet man nicht nur in zwei bzw. in drei Dimensionen, man geht auch zu höheren Dimensionen über, da diese Packprobleme Anwendungen zum Beispiel im Bereich der Digitalkommunikation haben.

Dabei geht man zumeist so vor, dass man zunächst vereinfachte Probleme studiert, für diese Probleme dann einen möglichst guten Algorithmus entwickelt und diesen dann schließlich für komplexere Problemstellungen aus der Realität anpasst. Um die Güte verschiedener Algorithmen besser vergleichen zu können, werden von verschiedenen Forschergruppen einfache Beispielpakete publiziert, die dann andere Gruppen zum Vergleich heranziehen können. Manchmal werden sogar regelrechte Wettbewerbe ausgeschrieben, bei denen neben dem Ruhm hin und wieder sogar kleine Geldpreise oder Trophäen für die besten Teilnehmer winken.

Ein derartiger Programmierwettbewerb wurde kürzlich von Al Zimmermann veranstaltet. Dabei sollten Kreisscheiben mit unterschiedlich großen ganzzahligen Radien (die kleinste Kreisscheibe sollte den Radius 1 haben, die zweitkleinste den Radius 2 usw.) so in einen umschließenden Kreis gepackt werden, dass der Radius dieses Umkreises minimal wird. Insgesamt wurden 46 Problemstellungen mit 5 bis 50 Kreisscheiben betrachtet, wobei eben bei dem Problem mit nur 5 Kreisscheiben diese die Radien 1, 2, 3, 4 und 5 hatten und bei dem Problem mit 50 Kreisscheiben alle ganzen Zahlen zwischen 1 und 50 als Werte für die Radien dienten. Die Grafiken in Abbildung 1 zeigen die von uns gefundenen neuen Weltrekordlösungen für die Probleme mit 30, 40 und 50 Kreisscheiben. Die Zahlen in den größeren Kreisscheiben geben ihre Radien an.

Ähnliche Problemstellungen, beispielsweise mit gleich großen Kreisscheiben, werden schon seit Jahrzehnten studiert. Bei der Aufgabenstellung dieses Wettbewerbs bestand die Neuerung somit hauptsächlich darin, dass die Größe der verschiedenen Kreisscheiben stark variiert. Aufgrund dieser Neuerung auf der einen Seite und der Verwandtschaft mit bereits bekannten Problemen auf der anderen Seite war das Interesse von zahlreichen Wissenschaftlern an dieser Aufgabenstellung geweckt worden. Insgesamt nahmen 155 Gruppen aus 32 Ländern an diesem Wettbewerb teil und reichten ihre Ergebnisse ein. Schließlich wurde die von Addis, Locatelli und Schön gebildete Teilnehmergruppe, die die meisten Weltrekorde aufgestellt hatte, zum Sieger erklärt und die von den verschiedenen Gruppen erreichten Ergebnisse veröffentlicht. Wie bei sportlichen Wettkämpfen auch, zeigte sich, dass die besten Gruppen zumeist gar nicht so weit auseinander lagen.

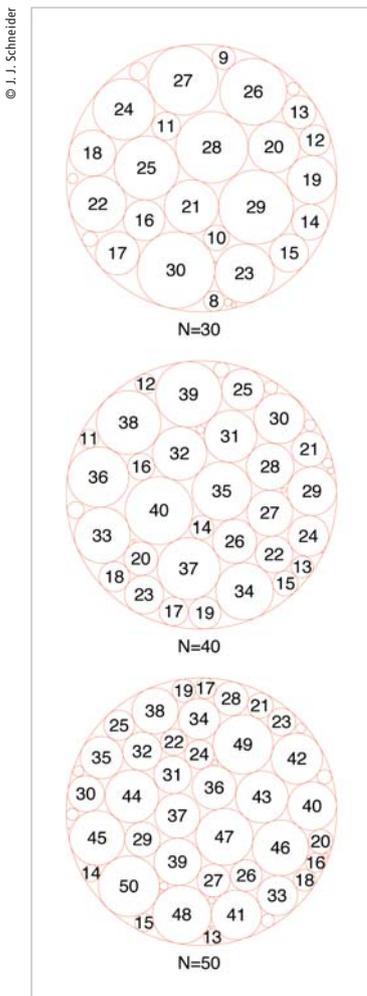


Abb. 1: Weltrekordlösungen für Kreispackungsprobleme mit 30, 40 und 50 Kreisscheiben.

Seit Kurzem arbeiten wir innerhalb des Schwerpunkts „Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften“ in einem interdisziplinären Projekt der Institute für Physik und für Informatik an der Entwicklung eines Computer-Algorithmus zur Lösung von allgemeinen Packproblemen. Dabei sollen Methoden und Erkenntnisse aus diesen beiden Fachrichtungen einfließen, um einen möglichst guten Algorithmus zu entwickeln. Dieser baut zum einen auf einem in der Physik entwickelten stochastischen Optimierungsalgorithmus auf, der das Problem ganzheitlich betrachtet, die Kreisscheiben kräftig durchrüttelt und somit global nach der besten Lösung sucht. Zum anderen basiert er auf einer numerischen Methode aus der Informatik, die lokal nach Verbesserungen sucht und somit das Gesamtsystem noch ein wenig zusammenpresst.

Der globale Algorithmus baut auf der inzwischen schon klassischen physikalischen Optimierungsmethode Simulated Annealing auf. Dabei setzt man anfangs die Kreisscheiben rein zufällig in die Landschaft. Danach wird die Anordnung der Kreisscheiben Schritt für Schritt verändert, indem man beispielsweise eine Kreisscheibe leicht verschiebt oder ihr einen ganz neuen Ort in der Packung zuweist. Eine weitere Möglichkeit der Änderung einer Anordnung besteht darin, zwei unterschiedlich große Kreisscheiben schlicht auszutauschen. Eine derartige Veränderung kann nun dazu führen, dass sich der Radius des Umkreises verändert, wenn man zum Beispiel die äußerste Kreisscheibe etwas nach innen schiebt. Auf der anderen Seite kann es auch passieren, dass zwei Kreisscheiben plötzlich teilweise übereinander liegen. Ein derartiger Überlapp ist eigentlich verboten. Aber ähnlich wie im realen Leben, wo man manchmal zu schnell fährt und somit ein Bußgeld riskiert, geht man hier so vor, dass ein derartiger Überlapp nicht generell verboten sein soll, sondern man darauf stets ein virtuelles Bußgeld zu entrichten hat. Die Strafe fällt umso höher aus, je größer der Überlapp ist. Die einzelnen Bußgelder für die verschiedenen Überlapps werden dann zum Radius des Umkreises hinzugezählt, wodurch sich eine Gesamtsumme bildet, die man wirtschaftlich als Kosten oder physikalisch als Energie interpretieren kann. Ist nun die zum Vorschlag stehende Konfiguration besser als die vorhergehende, so geht man zur neuen Anordnung über. Jedoch erlaubt man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch den Übergang zu einer schlechteren Anordnung. In diese Wahrscheinlichkeit geht das Ausmaß der Verschlechterung ein, so dass die Wahrscheinlichkeit, geringe Verschlechterungen anzunehmen, größer ist als die Wahrscheinlichkeit von großen Verschlechterungen. Aber generell wird die Wahrscheinlichkeit, eine Verschlechterung anzunehmen, während des Optimierungslaufs schrittweise verringert, bis zum Schluss nur noch Verbesserungen akzeptiert werden. Auf diese Art und Weise wird die Packung schrittweise immer besser, bis die Kreisscheiben schließlich ziemlich nahe aneinander liegen.

Um noch verbleibende kleine Lücken zu entfernen, wird dann noch ein lokales Optimierungsverfahren zum Einsatz gebracht. Dabei schiebt man die äußerste Kreisscheibe zunächst etwas nach innen, wodurch sich einerseits, wie gewünscht, der Radius des zu minimierenden Umkreises verringert; andererseits ergeben sich bedauerlicherweise aber oft auch Überschneidungen, die man dann wieder auflösen muss, indem man sich überschneidende Kreisscheiben so weit auseinander schiebt, bis sie sich nur noch berühren. Dieses Reinklopfen der äußersten Kreisscheibe mit anschließendem Auflösen der Überschneidungen wiederholt man solange, bis sich keine Verbesserung mehr erzielen lässt.

Die in dem Wettbewerb gestellte Aufgabe erwies sich nun als ideale Möglichkeit, die Güte unseres Algorithmus zu testen und diesen immer weiter zu verbessern. Dabei entsprang sogar zwischen Elmar Schömer von der Informatik, Johannes J. Schneider von der Physik und dem gemeinsamen Diplomanden André Müller ein freundschaftlicher interner Wettbewerb um die besten Lösungen. Während es André Müller als Erstem gelang, einige der Weltrekorde aus dem Wettbewerb zu brechen, und Elmar Schömer zwischendurch einen neuen Weltrekord für das Problem mit 49 Kreisscheiben aufstellte, ist nun Johannes J. Schneider alleiniger Weltrekordhalter: Bei den kleineren Problemstellungen mit bis zu 23 Kreisscheiben sowie beim Problem mit 25 Kreisscheiben hat er alle Weltrekorde eingestellt. Bei den größeren Problemstellungen mit 24 Kreisscheiben bzw. mit 26 bis 50 Kreisscheiben hat er sämtliche neuen Weltrekorde aufgestellt, die die vorherigen zum Teil sogar deutlich unterbieten.

Diese Ergebnisse riefen ein großes Medienecho hervor. So berichteten unter anderem das ZDF am 9. April 2009 in den Sendungen *Drehscheibe Deutschland* und *heute Nacht*, die ARD am 2. Juli 2009 in der Sendung *Nachtmagazin*, New Scientist Online am 6. März 2009, Spiegel Online am 23. März 2009, die Frankfurter Rundschau am 24. März 2009 und die Frankfurter Allgemeine Zeitung am 31. März 2009. Außerdem erschienen Artikel in zahlreichen Lokalzeitungen.

Jedoch interessieren wir uns nicht nur für die Weltrekordwerte und für die Art und Weise, wie unsere Algorithmen auf einer derartigen Problemstellung arbeiten und wie wir sie tunen müssen. Es geht uns auch um ganz konkrete Fragestellungen aus der Praxis: Ist es zum Beispiel sinnvoll, die größeren Teile nebeneinander zu packen, oder sollten größere Teile generell von mittelgroßen Teilen

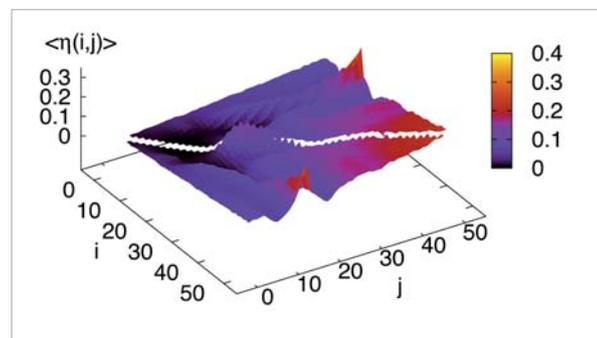


Abb. 2: Hier wird angezeigt, wie groß die relative Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass zwei unterschiedlich große Kreisscheiben mit den Radien i und j direkt nebeneinander liegen.

umgeben sein? Dazu vergleichen wir beispielsweise für das Problem mit 50 Kreisscheiben die besten Lösungen miteinander, die wir dafür erhielten. Für die in Abbildung 2 gezeigte Grafik haben wir etwa 10.000 Lösungen miteinander verglichen, die wir bei unseren Versuchen erhielten und die fast so gut wie die Weltrekordlösung sind. Die Zahlen auf der x- und der y-Achse geben die Radien „i“ und „j“ zweier Kreisscheiben an, nach oben ist aufgetragen, wie häufig die beiden jeweiligen Kreisscheiben nebeneinander liegen. Ein Wert von 1 für ein Paar von Kreisscheiben würde bedeuten, dass diese in allen Lösungen zueinander benachbart sind. Dabei ergibt sich kein eindeutiges Bild. Es ist also beispielsweise nicht so, dass die Kreisscheibe mit Radius 37 stets neben der Kreisscheibe mit Radius 49 liegen muss, um eine möglichst gute Lösung zu erhalten. Dennoch erkennt man gewisse Tendenzen: So ist es offensichtlich vorteilhaft, die großen Kreisscheiben nebeneinander zu platzieren. Zudem zeigt sich, dass Kreisscheiben mit den Radien 14-16 sehr gerne direkt neben den größten Kreisscheiben liegen. Hier stellt sich nun die Frage, warum dem so ist. Wenn man sich nochmals die obigen Weltrekordlösungen ansieht und diese genauer analysiert, so beantwortet sich diese Frage von selbst: Liegen zwei der größten Kreisscheiben beim Problem mit 50 Kreisscheiben direkt nebeneinander am Rand, so ist in dem Loch zwischen ihnen und dem Umkreis gerade so viel Platz, dass noch eine Kreisscheibe mit einem Radius von etwa 15 hineinpasst. Es ist somit optimal, eine derartige Kreisscheibe in dieses Loch zu stecken, da sie zum einen dieses sowieso dort vorhandene Loch gut ausfüllt und zum anderen woanders keinen Platz wegnimmt.

Für diese 10.000 Lösungen, die in unserer statistischen Auswertung miteinander verglichen wurden, benötigten wir natürlich auch eine große Menge an Rechenzeit. Insofern wurden diese Rechnungen zum Teil auf einem großen Parallelrechner mit Hunderten von Prozessoren im Forschungszentrum Jülich sowie im Rechenzentrum der Johannes Gutenberg-Universität Mainz durchgeführt, wo ein großer Rechencluster zur Verfügung steht. Zudem haben wir vor Kurzem damit begonnen, auch moderne Grafikkarten für unsere Optimierungsläufe heranzuziehen. Dank der Computerspiele-Industrie ist die Entwicklung von immer leistungsfähigeren Grafikkarten rasant fortgeschritten: Während es zum Beispiel bei einem Adventure-Game vor zehn Jahren noch genügte, einen Magier statisch zu zeigen, will man heute sehen, wie sein Bart im Wind flattert, wobei jedes einzelne Barthaar zu erkennen sein soll. Die dafür zur Verfügung stehende Rechenpower kann auch in sinnvoller Bahnen gelenkt werden, um wissenschaftliche Berechnungen direkt auf Grafikkarten durchzuführen. Erste Erfahrungen wurden dabei von Tobias Preis, Doktorand von Johannes Josef Schneider und Juniormitglied der Gutenberg-Akademie, gesammelt. Er implementierte das Standardmodell der statistischen

Physik, das Ising-Modell, und erzielte im Vergleich zu einer modernen CPU, der herkömmlichen zentralen Recheneinheit eines Computers, auf einer Geforce GTX280-Grafikkarte von Nvidia einen Beschleunigungsfaktor von 60. Ebenso untersuchte er auf dieser Architektur Finanzmarktdaten und implementierte komplexere numerische Methoden aus dem Bereich der Zeitreihenanalyse. Aufbauend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen gelang es André Müller, den Optimierungsalgorithmus ebenfalls auf eine Grafikkarte zu übertragen und ähnliche Beschleunigungsfaktoren zu erreichen.

Summary

Packing like a champion. We work in an interdisciplinary research project spanning physics and computer science on the development of a high performance optimization algorithm for packing problems. We were able to prove the superiority of our algorithm for a problem in which disks of various sizes have to be packed in a circumcircle with minimum radius. All world records, which were established in competition between 155 groups from 32 countries in an international contest, were either matched or beaten by our algorithm.



Fotostudio Stern, Straubing

PD Dr. Johannes Josef Schneider

Johannes Josef Schneider, geb. 1971, studierte Physik in Regensburg (1990-1995), wo er 1999 auch promovierte; von 1995-1997 mehrmonatige Aufenthalte am

Wissenschaftlichen Zentrum von IBM in Heidelberg; von 2000-2001 Assistent an der Universität Zürich; 2001-2002 Postdoktorand an The Hebrew University of Jerusalem; seit Oktober 2002 an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz; im Mai 2009 Habilitation (Buch: J. J. Schneider und S. Kirkpatrick, Stochastic Optimization, Springer, 2006, ISBN 3540345590); seit 2008 stellvertretender Leiter des Fachverbandes Physik sozio-ökonomischer Systeme der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Forschungsschwerpunkte: Entwicklung und Anwendung von Optimierungsalgorithmen; paralleles Höchstleistungsrechnen; Verkehrs-, Sozio- und Ökonophysik.



E. Schömer

Univ.-Prof. Dr. Elmar Schömer

Das Curriculum Vitae von Elmar Schömer finden Sie auf Seite 25.

Kontakt

PD Dr. Johannes Josef Schneider
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Staudinger Weg 7
 D-55099 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-3923 646
 Fax +49 (0) 6131-3925441
 Email: schneidj@uni-mainz.de
 www.staff.uni-mainz.de/schneidj

Moleküle im Computer-Labor

Von Gregor Diezemann, Andreas Köhn und Jürgen Gauss

Mit der Entwicklung paralleler und schneller Computerprogramme erweitert sich auch das Anwendungsfeld der Quantenchemie. Bereits heute können die Eigenschaften kleiner Moleküle sehr genau berechnet werden, zum Beispiel Energien mit einer Genauigkeit von besser als ein Kilojoule pro Mol. Die weniger genauen, aber doch recht zuverlässigen Ansätze, die für die Untersuchung großer Moleküle zur Verfügung stehen, erlauben darüber hinaus die erfolgreiche Anwendung quantenchemischer Methoden auch in den Material- oder Biowissenschaften.

Die Quantenchemie befasst sich mit der Vorhersage von Moleküleigenschaften, die das chemische und physikalische Verhalten der untersuchten Moleküle bestimmen. Solches Wissen ist notwendig, wenn man gezielte Voraussagen über die Resultate experimenteller Untersuchungen machen möchte. Dazu gehören beispielsweise die Energie des Moleküls, die elektronische Struktur und die Geometrie, das heißt die relative Anordnung der Atomkerne zueinander. Für die chemische Forschung sind alle diese Größen von entscheidender Bedeutung. So bestimmt die Energiebilanz einer chemischen Reaktion, ob diese freiwillig abläuft oder ob Energie zugeführt werden muss, indem man zum Beispiel heizt. Die Geometrie und die auf die Atomkerne wirkenden Kräfte bestimmen die Frequenzen, mit denen ein Molekül Schwingungen ausführt und somit auch, inwieweit Energie absorbiert werden kann. Solche Schwingungen können mittels spektroskopischer Methoden (Infrarot, Raman) experimentell untersucht werden.

Ein Gegenstand der quantenchemischen Forschung ist daher auch die Entwicklung und Anwendung von Rechenmethoden, die genaue Informationen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Molekülen liefern. Dabei ermöglicht die Entwicklung immer leistungsfähigerer Computer einerseits eine stetig steigende Genauigkeit der Ergebnisse und andererseits die Behandlung immer komplexerer Moleküle. Beide Aspekte erweitern das Anwendungsspektrum quantenchemischer Untersuchungen in der chemischen Forschung kontinuierlich. Die geschickte Kombination von theoretischen Berechnungen spektroskopisch relevanter Größen und ihre experimentelle Bestimmung erlauben die detaillierte Untersuchung der Eigenschaften von bekannten, aber auch von neuen Molekülen. Die Anwendungen dieser Konzepte können erfolgreich in unterschiedlichen Bereichen der chemischen und physikalischen Forschung eingesetzt werden.

In vielen Fällen werden spektroskopisch ermittelte Größen durch die Geometrie der untersuchten Moleküle bestimmt. Im Arbeitskreis Theoretische Chemie werden unter anderem solche Größen mit hoher Genauigkeit berechnet. Dazu wird die Grundgleichung der Quantenmechanik, die Schrödinger-Gleichung, näherungsweise gelöst. Eine exakte, analytische Lösung dieser Gleichung ist nur für sehr einfache Probleme, wie ein Zweikörperproblem, möglich. Da schon kleine Moleküle, wie beispielsweise ein Wassermolekül (H_2O), ein komplexes Mehrteilchensystem darstellen (Wasser besteht aus drei Atomkernen und zehn Elektronen), ist die Entwicklung sinnvoller und möglichst guter Näherungsverfahren ein wesentlicher Bestandteil der Forschung in der theoretischen Chemie.

Das grundsätzliche Vorgehen bei der Entwicklung solcher Näherungen basiert auf folgenden Ideen. Zunächst ist es möglich, die Dynamik von Atomkernen und Elektronen getrennt zu betrachten, da sich letztere aufgrund ihrer sehr viel kleineren Masse (ein Elektron wiegt etwa $1/2000$ eines Wasserstoffatomkerns) sehr viel schneller bewegen. Somit kann man für die Bestimmung der elektronischen Struktur von Molekülen einerseits davon ausgehen, dass sich die Atomkerne in erster Näherung gar nicht bewegen (sogenannte clamped nuclei) und andererseits die Atomkerne lediglich ein mittleres elektrostatisches Feld sehen, das über die schnelle Elektronenbewegung gemittelt ist (Born-Oppenheimer Näherung). Die molekulare Geometrie lässt sich durch die Lösung beider Probleme bestimmen, indem man die elektronische Struktur bei vorgegebener Anordnung der Atomkerne ermittelt und dann die Energie des Moleküls und insbesondere die auf die Atomkerne wirkenden Kräfte berechnet. Danach ändert man die Kernkonfiguration (Anordnung) und wiederholt die Energiebestimmung. Diesen Zyklus durchläuft man in einer geschickt gewählten Abfolge von Konfigurationen, bis man das energetische Minimum erreicht hat, in dem keine Kräfte mehr auf die Atomkerne wirken. Die entsprechende Kernkonfiguration entspricht dann der Gleichgewichtsgeometrie des Moleküls.

Ein großes Problem bei dieser Vorgehensweise ist die Tatsache, dass auch bei festgehaltenen Kernen das Problem der Elektronenbewegung nicht exakt gelöst werden kann und somit auch das effektive Feld, das die Kernkonfiguration festlegt, nicht exakt ermittelt werden kann. Die einfachste Näherung, die auch historisch zu würdigen ist, besteht in einem Ansatz, der die Bewegung eines Elektrons im gemittelten Feld

aller anderen Elektronen betrachtet (Hartree-Fock-Theorie). Allerdings bleibt dabei ein ganz wesentlicher Aspekt des Vielteilchencharakters der Coulomb-Wechselwirkung zwischen geladenen Teilchen unberücksichtigt: Teilchen mit gleicher Ladung (Elektronen tragen eine negative Elementarladung) stoßen sich ab und gehen sich somit aus dem Weg. Diese „Ausweichmanöver“ werden in der Theorie des gemittelten Feldes nicht berücksichtigt. Gerade die möglichst genaue Beschreibung der Coulomb-Wechselwirkung der Elektronen in einem Molekül stellt die große Herausforderung in der modernen Quantenchemie dar. Nur die sehr genaue Berechnung der elektronischen Struktur eines Moleküls erlaubt eine realistische Beschreibung des für die Kernbewegung relevanten mittleren elektrostatischen Feldes und somit der Gleichgewichtsgeometrie. Diese liefert die Grundlagen für die theoretische Bestimmung spektroskopisch relevanter Parameter, die zur Interpretation experimenteller Daten herangezogen werden können. Es gibt eine Vielzahl quantenchemischer Näherungsverfahren, welche die angesprochenen „Ausweichmanöver“ der Elektronen, die sogenannte Elektronenkorrelation, beschreiben.

Um eine quantenchemische Rechnung durchzuführen, ist es notwendig, die entsprechenden mathematischen Gleichungen des verwendeten Näherungsverfahrens in ein effizientes Computerprogramm zu übersetzen. Bei den hochgenauen Coupled-Cluster Methoden, die heute zum Einsatz kommen, müssen zur Berechnung von Energien oder auch Kräften auf Atomkerne nicht-lineare Gleichungssysteme mit mehr als einer Million Unbekannten gelöst werden. Moderne Programmpakete, mit denen quantenchemische Rechnungen durchgeführt werden, wie das Programmpaket C FOUR (<http://www.cfour.de/>), das vom Arbeitskreis Theoretische Chemie zusammen mit Gruppen der Universitäten in Austin (Texas) und in Budapest entwickelt und gepflegt wird, bestehen aus

einigen Hunderttausend Zeilen an Programmcode. Das Schema der Vorgehensweise bei einer quantenchemischen Rechnung wird in Abbildung 1 gezeigt.

Es gilt bei der Umsetzung der Computerprogramme für unterschiedliche Näherungsverfahren zur Beschreibung der Elektronenkorrelation (der „Ausweichmanöver“) recht allgemein, dass Methoden, die bessere Ergebnisse liefern, numerisch aufwendig sind und sie deshalb nur für relativ kleine Moleküle angewendet werden können. In Abbildung 2 ist eine qualitative Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Genauigkeit und der Anwendbarkeit quantenchemischer Methoden gezeigt.

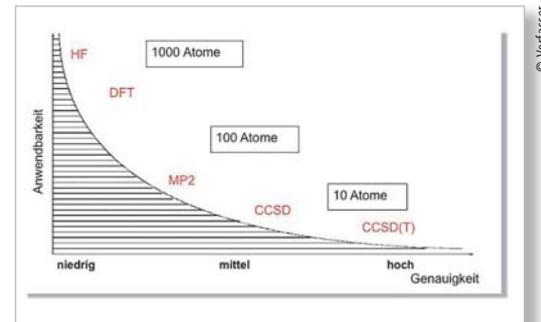
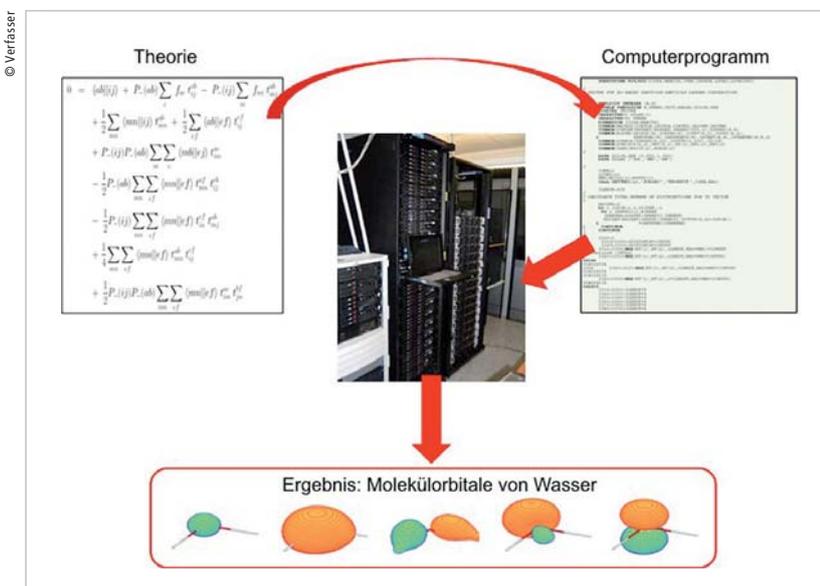


Abb. 2: Qualitativer Zusammenhang zwischen der Genauigkeit und der Anwendbarkeit, das heißt der Größe von in realistischer Zeit berechenbarer Moleküle. Abkürzungen: HF: Hartree-Fock-Theorie, das ist die im Text angesprochene Theorie eines mittleren Feldes; DFT: Dichtefunktionaltheorie; MP2: Møller-Plesset-Störungsrechnung, wobei für die Berechnung der Elektronenkorrelation angenommen wird, dass es sich dabei um einen kleinen Effekt handelt; CCSD, CCSD(T): Coupled-Cluster Methoden unterschiedlicher Genauigkeit. Hierbei handelt es sich um die derzeit genauesten und aufwendigsten Verfahren zur Behandlung der Elektronenkorrelation.

Abb. 1: Schematische Darstellung der Abläufe in der Quantenchemie: Zunächst wird die mathematische Formulierung der Theorie in ein Computerprogramm übersetzt. Dieses läuft auf modernen Hochleistungsrechnern (Linux-PC-Cluster) und liefert in der Ausgabe das gesuchte Ergebnis.



Neben der steigenden Computerleistung spielt für die Effizienz quantenchemischer Programmpakete auch die konkrete Implementierung eine entscheidende Rolle. So nutzt man heute die Möglichkeit, einzelne Rechenoperationen auf mehrere Computer zu verteilen (Parallelisierung), um die Geschwindigkeit weiter zu erhöhen. Ohne diese zusätzlichen programmiertechnischen Weiterentwicklungen könnte das volle Potential von Computerclustern mit mehreren Recheneinheiten – sogenannten Knoten – nicht ausgeschöpft werden.

Als konkretes Beispiel für die Dauer einer „State of the Art“ quantenchemischen Rechnung soll hier die Berechnung der Geometrie und der Parameter für die kernmagnetische Resonanz (NMR) am Beispiel des Adamantyl-Kations, das in Abbildung 3 zu sehen ist, angeführt werden. Dieses Kation besteht aus 10 Kohlenstoffatomen und 15 Wasserstoffatomen. Für dieses Molekül dauert die Bestimmung der Gleichgewichtsgeometrie einige Minuten, wenn man die Theorie des mittleren Feldes, die Hartree-Fock-Theorie,

benutzt. Führt man die Geometrieoptimierung hingegen auf dem Niveau der Coupled-Cluster Methode CCSD(T) durch, so dauert diese Berechnung etwa 15-20 Tage, wenn man neun Knoten auf einem gängigen PC-Cluster dafür benutzt. Die Berechnung der NMR-Parameter dauert anschließend auf 24 Knoten nochmals 13 Tage. In diesem Beispiel ist der genannte Rechenaufwand erforderlich, um quantitative Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen zu erhalten und somit eine eindeutige Zuordnung der Linien im Spektrum zu ermöglichen.

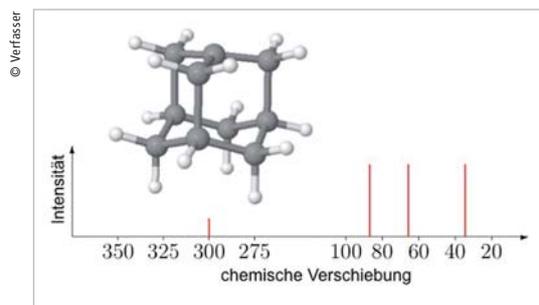
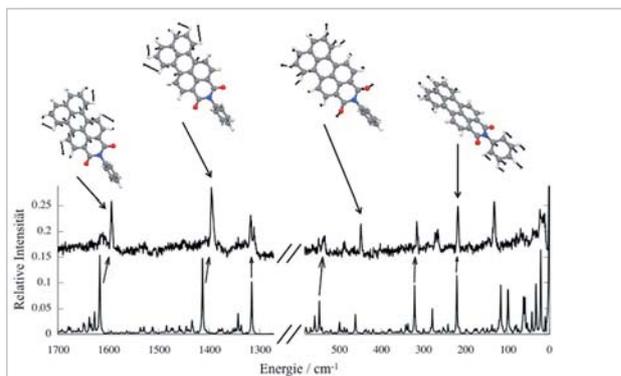


Abb. 3: Graphische Darstellung des Adamantyl-Kations zusammen mit dem berechneten Spektrum der kernmagnetischen Resonanz; grau: Kohlenstoffatome, weiß: Wasserstoffatome.

Neben der Entwicklung und Implementierung neuer und besserer quantenchemischer Verfahren werden im Arbeitskreis Theoretische Chemie auch spektroskopisch relevante Parameter berechnet und – auch in Zusammenarbeit mit experimentell arbeitenden Gruppen – zur Analyse komplexer spektroskopischer Probleme herangezogen. Diese Forschungsrichtung soll anhand eines konkreten Beispiels erläutert werden.

In jüngerer Zeit hat sich die Einzelmolekülspektroskopie als eine hervorragende Methode zur Charakterisierung dynamischer Prozesse etabliert. Insbesondere die optische Einzelmolekülspektroskopie erlaubt es, auch in Festkörpern das Verhalten einzelner herausgegriffener Moleküle zu untersuchen. Dazu wird ein Molekül mithilfe eines Lasers elektronisch angeregt, das heißt, es wird ein Elektron in einen energetisch höher liegenden Zustand versetzt. Im Anschluss kann man beobachten, wie das Molekül unter der Emission von Photonen wieder in den Ursprungszustand übergeht. Dabei können die auftretenden Linien im Idealfall einzelnen Molekülschwingungen zugeordnet werden. Diese Zuordnung erlaubt eine detaillierte Analyse der beteiligten Prozesse und insbesondere der Art und Weise, wie die zugeführte Energie umverteilt wird. In Abbildung 4 ist ein Emissionsspektrum bzw. das Molekülgerüst eines gut untersuchten Farbstoffs, des Perylenmonoimid, gezeigt. Dabei verdeutlichen die Pfeile die Auslenkungen der einzelnen Atome bei der jeweils ange deuteten Linie im Spektrum. Bei den niederfrequenten Schwingungen (rechts in Abb. 4) handelt es sich um sogenannte „Atmungsmodi“ des



© T. Basché & Verfasser

Abb. 4: Emissionsspektrum von Perylenmonoimid, aufgenommen in einer amorphen Matrix aus Plexiglas bei tiefen Temperaturen.

Oben: experimentell bestimmtes Spektrum, aufgenommen im Arbeitskreis von Prof. T. Basché (Institut für Physikalische Chemie, JGU Mainz).

Unten: quantenchemisch berechnetes Spektrum. Über dem Spektrum sind für die mit Pfeilen markierten Bereiche die verantwortlichen Molekülschwingungen des Perylenmonoimid-Moleküls gezeigt. Die Atome des Moleküls sind folgendermaßen dargestellt: grau: Kohlenstoff, rot: Sauerstoff, blau: Stickstoff und weiß: Wasserstoff. Die kleinen Pfeile deuten für die jeweilige Molekülschwingung die Auslenkungen der Atome aus ihrer Gleichgewichtslage an.

Moleküls, die höherfrequenten Schwingungen (links in Abb. 4) sind hauptsächlich Gerüstschwingungen. Die Interpretation eines solchen Spektrums und die Zuordnung der einzelnen Linien zu den entsprechenden Molekülschwingungen stellt eine schwierige Aufgabe dar. Erst die quantenchemische Berechnung des Spektrums erlaubt eine eindeutige Interpretation der Linien.

Auf diese Weise kann das gesamte Spektrum eindeutig analysiert werden. Abweichungen zwischen den experimentellen und den theoretischen Ergebnissen lassen sich aufgrund der Qualität beider Resultate auf zusätzliche, in der theoretischen Behandlung nicht berücksichtigte Effekte zurückführen. Dabei handelt es sich in erster Linie um Wechselwirkungen zwischen dem Farbstoffmolekül und der amorphen Polymer-Umgebung.

Dieses Beispiel entstammt einer Kooperation im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 625 und demonstriert die erfolgreiche Kombination aus quantenchemischen Berechnungen spektroskopischer Parameter und experimentellen Untersuchungen. Die Kombination erlaubt eine detaillierte Analyse komplexer Spektren und somit die Strukturbestimmung von einzelnen Molekülen, Molekülverbänden oder auch Festkörpern, was in einer Vielzahl weiterer Beispiele aus unterschiedlichen Forschungsprojekten ausgenutzt wird. Theoretische Untersuchungen in der hier beschriebenen Art stellen neben der Entwicklung neuer quantenchemischer Methoden eine Säule der Forschung im Arbeitskreis Theoretische Chemie dar.

■ Summary

Modern quantum chemistry deals with the calculation of the properties of molecules on varying levels of accuracy. For small molecules (up to 30 atoms) very high precision can be reached in the calculation of energies and structural properties due to very efficient computer codes. For large molecules one has to rely on methods that are not that accurate. Current research focuses on both aspects: the implementation of highly efficient codes and the computation of relevant properties of larger molecules.

P. Sigi



Prof. Dr. Gregor Diezemann

Gregor Diezemann, Jahrgang 1961, studierte Chemie an der Universität Mainz, wo er 1992 in Physikalischer Chemie promovierte. Nach Forschungsaufenthalten an der Technischen Universität München (1995) und am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (USA, 1998) habilitierte er im Fach Physikalische Chemie und kam 2002 als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Arbeitsgruppe Theoretische Chemie. Seit 2007 ist er außerplanmäßiger Professor am Institut für Physikalische Chemie. Seine Forschungsgebiete umfassen Themen aus der Statistischen Physik, wie die theoretische Beschreibung kraftspektroskopischer Untersuchungen und die Dynamik in komplexen Systemen sowie die Untersuchung von Energietransfer-Prozessen in Modellsystemen.

M. Köhn



Dr. Andreas Köhn

Andreas Köhn, Jahrgang 1974, studierte Chemie an der Universität Karlsruhe (Diplom 1999) und promovierte dort 2003 in Theoretischer Chemie. Nach Postdoc-Aufenthalten am Forschungszentrum Karlsruhe (2003) und an der Universität Aarhus (Dänemark, 2004-2005) kam er an die Universität Mainz, wo er seitdem eine Nachwuchsgruppe in Theoretischer Chemie leitet. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind optische Eigenschaften von Molekülen, Energietransfer-Prozesse und symbolische Algebra zur Entwicklung neuer quantenchemischer Verfahren.

Th. Hartmann



Univ.-Prof. Dr. Jürgen Gauß

Jürgen Gauß, Jahrgang 1960, studierte Chemie an der Universität zu Köln, wo er 1988 in Theoretischer Chemie promovierte. Nach zwei Jahren als Postdoc in den USA (University of Washington, Seattle und University of Florida, Gainesville) kam er 1991 nach Karlsruhe, wo er 1994 habilitierte. 1995 wurde er C3-Professor für Theoretische Chemie an der Universität Mainz und seit 2001 ist er C4-Professor. Im Jahr 2005 erhielt er für seine Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Quantenchemie den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Gauß
 Institut für Physikalische Chemie
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 22 709
 Email: gauss@uni-mainz.de

Technologierevolution in der Genomforschung

Von Thomas Hankeln, Hans Zischler und Erwin R. Schmidt

Neue revolutionäre Sequenzierungstechnologien versprechen für Medizin und Biologie einzigartige Einsichten in das Erbmateriale von Lebewesen. In wenigen Jahren werden wir alle die DNA-Sequenz unseres eigenen individuellen Genoms bei moderaten Kosten entschlüsseln können. Die riesigen Datenmengen schaffen aber auch Probleme für die bioinformatische Verarbeitung und Interpretation. Das Nukleinsäureanalytik-Zentrum der Universität Mainz plant im Verbund mit dem Forschungsschwerpunkt „Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften“ die zentrale Etablierung der neuen Verfahren.

Manche Revolutionen dauern etwas länger. Immerhin 32 Jahre ist es her, dass Fred Sanger und Alan Coulson ein praktikables Verfahren zur Sequenzierung von DNA vorstellten. Bis heute hat die Sanger-Methodik, eine im Reagenzglas nachgeahmte DNA-Replikation, überlebt: Mit ihr wurden noch unter einem Milliarden-Dollar-Einsatz zwischen 1998 und 2003 die ersten Versionen des drei Milliarden Nukleotide umfassenden Humangenoms erstellt. Zwar wird die Sanger-Methode für kleine Projekte nicht aussterben, doch sehr viel schnellere und extrem kostengünstigere Sequenzierungsmethoden („Next-Generation-Sequencing“, NGS) revolutionieren derzeit die Genomforschung.

NGS: Entdecke die Möglichkeiten!

Mit dem beabsichtigten Publicity-Effekt konnte per NGS das Genom des DNA-Helix-Entdeckers und Nobelpreisträgers James D. Watson für etwa 350.000 Dollar entschlüsselt werden. Die ebay-Auktion einer Humangenom-Sequenzierung im Mai 2009 zum Einstiegspreis von 68.000 US-Dollar war noch ein Werbegag der „Personal Genomics“-Firma KNOME, zeigt aber die Richtung an. Ziel der Humangenetik ist es, die vielen kleinen und großräumigen Unterschiede unseres Erbmaterials zu identifizieren. Es sind diese kleinen Unterschiede (mit einer Frequenz von etwa einem aus tausend Bausteinen), die uns als Lebewesen individuell machen. Seit Januar 2008 läuft das „1000 genomes project“. Hierbei werden durch Sequenzierung der Genome von Asiaten, Afrikanern und Europäern alle weltweit biomedizinisch relevanten Genunterschiede aufgespürt. Dies wird die Grundlage für eine individualisierte Medizin darstellen, bei der Medikamente auf den Genotyp abgestimmt verabreicht werden, um ihre Wirksamkeit zu verbessern

und Nebenwirkungen auszuschließen. Auch wird der Katalog der Genvarianten die Identifizierung solcher Gene beschleunigen, die für komplexe genetische Erkrankungen (Diabetes, Bluthochdruck, Krebs etc.) verantwortlich sind. So konnte kürzlich ein komplettes Genom von Blutkrebszellen sequenziert werden: Der Vergleich mit dem Genom aus gesunden Zellen des Patienten zeigte acht tumorspezifische Mutationen in Genen, die zuvor nie als krebisrelevant aufgefallen waren.

Auch die anderen Lebenswissenschaften sind elektrisiert ob der neuen Möglichkeiten: Molekulare Systematiker sequenzieren Genome, um aufgrund von Sequenzen Stammbäume von Tieren, Pflanzen und Bakterien zu erstellen. Dabei entdecken sie, dass klassische Gruppierungen aufgrund der molekularen Daten völlig neu sortiert und Lehrbücher umgeschrieben werden müssen. Dies hat erheblichen Einfluss darauf, wie wir die Evolution unseres eigenen Genoms betrachten. Schon werfen Evolutionsbiologen einen direkten Blick in die Vergangenheit unserer Spezies: Forscher haben per NGS eine erste Version des Genoms des Neandertalers rekonstruiert. Die Auswertung läuft noch: Wird es sich bestätigen, dass sich der Neandertaler vor etwa 600.000 Jahren von unserer eigenen Evolutionslinie abgetrennt hat und bis zu seinem Aussterben vor 25.000 Jahren als „Parallelgesellschaft“ ohne Genaustausch mit Homo sapiens existiert hat?

Auch Ökologen haben Spannendes vor: NGS ermöglicht es, bislang eher exotische und auf Genomebene kaum bekannte Spezies aus wichtigen Ökosystemen zu analysieren. So wurde soeben ein Genkatalog von Riff-bildenden Korallen erstellt, um daraus Gene zu extrahieren, die für eine Klima-Anpassung von Korallen wichtig sind. Auch in der Mikrobiologie ist NGS ein Durchbruch: Die relativ kleinen Genome von Bakterien (nur zirka ein Tausendstel des Humangenoms) werden zu Hunderten sequenziert und verglichen. Dabei zeigt sich zum Beispiel, dass Bakterien durch den „horizontalen Gentransfer“ natürlicherweise DNA aus der Umwelt aufnehmen, in ihrem Genom etablieren und daraus neue Eigenschaften entwickeln können. Weitere Anwendungen findet NGS beispielsweise in der qualitativen und quantitativen Analyse von Genprodukten wie RNA-Molekülen (Transkriptom). Durch „deep sequencing“ ist es möglich, nur in sehr geringer Kopienzahl (statistisch weniger als ein Molekül pro Zelle) vorliegende Transkripte nachzuweisen. Mit der NGS-Transkriptomanalyse können

gezielt diejenigen Bereiche des Genoms erfasst werden, die funktionell wichtig sind und Aussagen über die Regulation der Genaktivität in verschiedenen Entwicklungsstadien und Geweben eines Organismus liefern.

Bye bye Sanger: die neue Generation von Sequenzierungsverfahren

Das Wesen von NGS besteht in dem Verzicht auf langsame und kostspielige Abläufe. Abgeschafft wurden die klassische Klonierung von DNA, durch die man homogenes Erbmateriale für die Sequenzierung erhielt, und der unpraktische Sequenz-Leseschritt durch Gelelektrophorese. Die Durchführung der Sequenzierungsreaktion im Mikro- oder zukünftig gar Nanomaßstab senkt den Reagenzienverbrauch drastisch. Drei NGS-Verfahren konkurrieren derzeit auf dem Markt, basieren aber auf unterschiedlichen Prinzipien und werden zum Teil unterschiedliche Anwendungsgebiete in der Genomforschung haben.

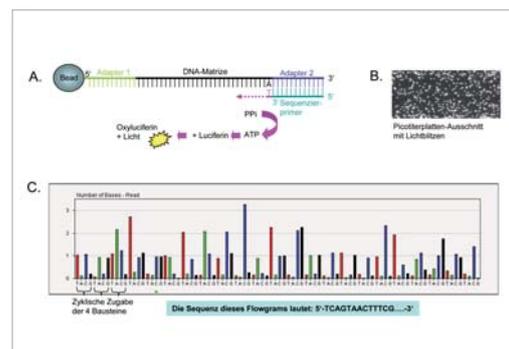
Das meist verbreitete Verfahren von 454 Life Sciences/Roche ist eine Weiterentwicklung der bereits Anfang der 1990er Jahre erdachten Pyrosequenzierung (Abb. 1A). Zunächst wird die zu sequenzierende DNA (etwa ein komplettes Genom oder Kopien der Gentranskripte = cDNA) physikalisch zerlegt. Die Bruchstücke werden einzeln an 20µm-Mikrokügelchen (Beads) gekoppelt und daran heftend durch eine Polymerasekettenreaktion (PCR) klonal vermehrt; das heißt, eine Kugel trägt viele identische Kopien eines bestimmten DNA-Moleküls. Die Beads werden nun einzeln in Löcher einer sogenannten Picotiter-Platte gefüllt. Bei einer Million Mikro-Reaktionslöchern (Wells) pro Platte können ebenso viele verschiedene Moleküle gleichzeitig sequenziert werden. Bei der eigentlichen Sequenzreaktion wird wie bei Sanger ein Einzelstrang des zu sequenzierenden DNA-Moleküls als Vorlage genommen und mithilfe eines Primers und einer Polymerase zum Doppelstrang ergänzt („sequencing-by-synthesis“). Immer wenn ein Nukleotid richtig, das heißt komplementär zum Vorlagenstrang, eingebaut wird, kann das dabei freigesetzte Pyrophosphat (PPi) mithilfe eines in den Wells befindlichen Enzymsystems zunächst in den Energielieferanten Adenosintriphosphat (ATP) und dann in einen zu messenden Lichtblitz umgewandelt

werden (Abb.1A, B). Nacheinander werden die vier DNA-Bausteine Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) und Thymin (T) hinzugefügt (Sequenzierzyklus 1). Zwischen den einzelnen Nukleotidzugaben erfolgen Waschschriffe, die das System „zurücksetzen“. Wenn der Matrizenstrang zum Beispiel ein Adenin enthält, leuchtet das Well ausschließlich bei der Zugabe von Thymin auf. Danach erfolgt der nächste Sequenzierzyklus, wieder mit den vier Zugabeschritten. Wenn hier zum Beispiel der Lichtblitz bei G-Zugabe entsteht und dreimal so stark ist wie der Blitz in Zyklus 1, so lautet die Sequenz bis hierhin „TGGG“. Die Darstellungsform solcher Sequenzdaten („Flowgram“) ist in Abbildung 1C gezeigt. Durchschnittlich etwa 400 Nukleotide (geplant sind bis 1.000) können so derzeit pro Well gelesen werden. Diese Leselänge kommt dem Sangerverfahren nahe und ermöglicht eine passable Aufstellung (Assemblierung) von Teilsequenzen eines Genoms. Die 454-Technologie gilt daher als Methode der Wahl für die *de novo*-Sequenzierung unbekannter Genome (Mensch, Bakterienstämme etc.) und die Sequenzierung von Transkriptomen lassen sich mit der vielseitigen 454-Technik durchführen. Die Datenmengen sind mit bis zu 500 Mega-Basenpaaren (MBp) Sequenzinformation pro zehn Stunden Gerätelauf bereits erheblich (Sanger-Kapillarsequencer: ein MBp pro Tag), liegen jedoch unterhalb der beiden anderen Systeme, die daher für rein quantitative Applikationen (Auszählen von DNA-Schnipseln, wie etwa zur Messung der Genexpression) besser geeignet sind. Schwächen hat die 454-Technologie prinzipbedingt beim Lesen langer Homopolymer-Abschnitte, die jedoch in den wichtigen kodierenden Genbereichen nicht so häufig sind: Es ist schwierig, die Lichtintensität nach Einbau von zum Beispiel 20 C-Nukleotiden gegenüber nur 19 Bausteinen zu diskriminieren. Dennoch liegt insbesondere bei ausreichend hoher Redundanz (das heißt mehrfachem Sequenzieren derselben DNA-Region) die Lesegenauigkeit bei etwa 99 Prozent.

Die zwei weiteren Verfahren der Firmen Illumina („Genome Analyzer II“) und ABI („SOLiD“) sind technisch ebenfalls ausgesprochen elegant. Beide produzieren erheblich größere Datenmengen, aber mit 35 bis 100 Basenpaaren (Bp) viel kürzere Leseweiten pro Teil-Sequenzierung (Read). Für eine detaillierte Erklärung dieser Verfahren und der bereits angekündigten Technologien der dritten Generation verweisen wir aus redaktionstechnischen Gründen auf eine erweiterte Version dieses Manuskripts (als PDF-File herunterzuladen auf <http://molgen.biologie.uni-mainz.de>).

Abb. 1: Die 454-Pyrosequenzierung.

- A. Prinzip der Sequenzreaktion durch DNA-Synthese.
- B. Detektion der Lichtsignale auf Picotiterplatten-Ausschnitt.
- C. Darstellung des Sequenzierungsergebnisses als „Flowgram“.



© T. Hankeln

Bioinformatische Herausforderungen

So effizient die neuen Hochdurchsatz-Sequenzierungsverfahren auch sind, so groß ist die Herausforderung für die Bioinformatik, diese Datenmengen zu speichern, sie auszuwerten und sinnvolles Wissen

über das Genom daraus zu generieren. In der Zeitschrift „Nature Biotechnology“ wurde dies kürzlich mit dem Versuch verglichen, seinen Wasserdurst aus einem Feuerwehrschauch heraus zu stillen. Aufgrund der seriellen Fluoreszenzmessung in jedem Sequenzierungsschritt produzieren alle NGS-Techniken Bild-Rohdaten in bisher nicht gekanntem Umfang. Das SOLiD-System erfordert 15 Terabyte (TB) an Speicher für die reine Arbeitsumgebung sowie 30-40 TB für mittelfristige Datenarchivierung. Dabei ist eine Langzeitlagerung der wertvollen Rohdaten ratsam. Charakteristisch für die 454-Pyrosequenzierung sind zum Beispiel falsche Abschätzungen der Nukleotidzahl in Homopolymer-Nukleotidabschnitten, artifizielle Baseninsertionen und Fehler durch unterschiedliche Matrizen-Moleküle an einem Bead. Die sogenannten Base-Calling-Algorithmen werden jedoch stetig verbessert und eine Re-Analyse alter Läufe ist daher sinnvoll. Parallel zum Problem der Archivierung stoßen die althergebrachten Laborprotokollbücher an ihre Grenzen und müssen durch professionelle Labor-Managementsysteme ersetzt werden.

Entscheidend ist jedoch, dass leider eine Gemeinsamkeit von Sangertechnik und NGS weiter besteht: Alle derzeitigen Verfahren sind methodisch bedingt auf eine Leselänge beschränkt, die zwischen 35 Nukleotiden bei SOLiD und etwa 1.000 Nukleotiden bei Sanger liegt. Daher müssen die DNA-Moleküle komplexer Genome zunächst physikalisch zerstückelt und dann in Form von Millionen relativ kleinen Stücken sequenziert werden („Shotgun“-Verfahren, Abb. 2A). Erst der Computer kann aus diesen Schnipseln durch Erkennen von Überlappungen der Nukleotidabfolge zwischen den Teilabschnitten wieder die gewünschte Sequenz in originaler Moleküllänge rekonstruieren. Gemeinhin wird dies mit einem Puzzle aus Millionen von Teilen verglichen, ohne dass man allerdings das fertige Bild vor Augen hat (Abb. 2B). Diese *de novo*-Assemblierung zusammenhängender DNA aus Sequenzschnipseln zu sogenannten Contigs (contiguous sequence) ist als NP-schweres informatisches Problem ohne exakte Lösung bekannt. Mathematisch haben wir es hier mit einem „shortest common superstring“-Problem bzw. Hamilton-Graph zu tun (Abb. 3A). Die Teilsequenzen sind dabei als Knoten dargestellt, eine Sequenzüberlappung zwischen ihnen als Kante. Ziel der Assemblierung ist es, den kürzesten Weg zu rekonstruieren, bei dem alle Knoten nur einmal angesteuert werden. Abbildung 3A zeigt, dass schon bei Auftreten geringfügiger Sequenz-Doppelungen zwischen Reads mehrere Rekonstruktionspfade möglich sind. Die von NGS erzeugten mittellangen bis kurzen Reads verschärfen dieses Problem: Je kürzer und zahlreicher die Schnipsel sind, desto problematischer gestaltet sich der Assemblierungsvorgang. So wurde gezeigt, dass 750 Bp lange Sanger-Reads das Neisseria-Bakteriengenom immerhin in 59 Contigs von meist mehr als 1.000 Nukleotiden Länge assemblieren können, während

70 Bp-short Reads mehr als 1.800 Contigs produzieren. Hier tut also Algorithmenentwicklung Not, die auf die Verarbeitung von Millionen kurzer Reads speziell abgestimmt ist.

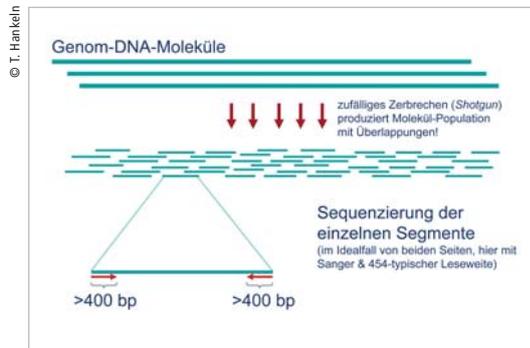


Abb. 2A: Genomsequenzierung im Shotgun-Verfahren.

Herstellung der Teil-Sequenzierungen (Reads)

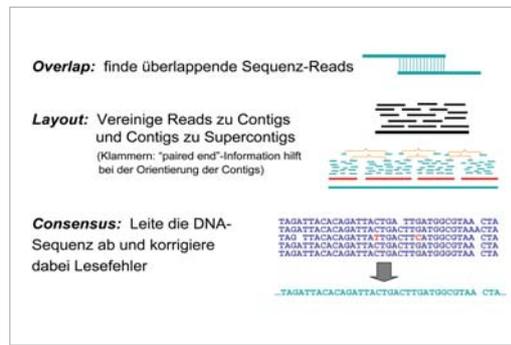


Abb. 2B. Assemblierung der Gesamtsequenz in drei Schritten („overlap-layout-consensus“-Ansatz).

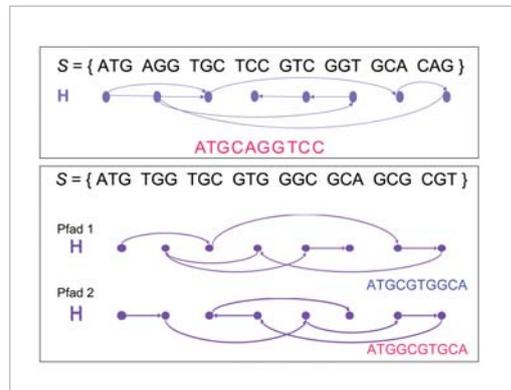
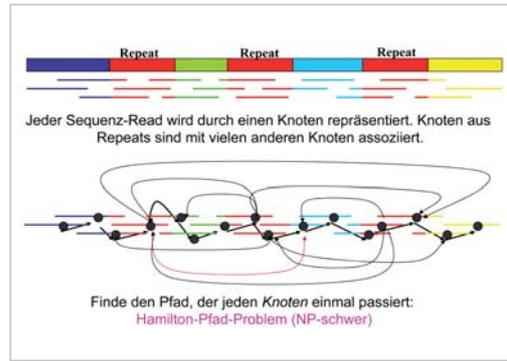


Abb. 3A: Rekonstruktion der Gesamtsequenz durch Graphentheoretische Verfahren.

Hamilton-Graphen (H). Die Reads (S) bestehen in diesem einfachen Beispiel aus Trinukleotiden. Das Beispiel unten ist nicht eindeutig lösbar, da zwei Pfad-Möglichkeiten für die Assemblierung bestehen.

Das größte Problem bei der Assemblierung ist, dass komplexe Genome von eukaryotischen, vielzelligen Organismen oft viele Millionen von ganz ähnlichen, sich nahezu perfekt wiederholenden „repetitiven“ Sequenzen besitzen, deren mögliche Funktionen im Genom noch unklar sind. Etwas voreilig werden sie oft als Genom-Müll bezeichnet. Das Humangenom besteht zu fast 50 Prozent aus repetitiver DNA, darunter allein mehr als eine Million Repeats vom Typ „Alu“ mit 300 Nukleotiden Länge. Ist die Leselänge der Sequenzierungsmethode „N“ kleiner als die Repeatlänge „n“, so kann kein Standard-Assemblierungsalgorithmus Ordnung schaffen, da er nicht erkennen kann, an welche Stelle des Genoms genau eine bestimmte repetitive Kopie gehört (Abb. 3B). Im Hamilton-Graph verweist jeder Repeat-Knoten

Abb. 3B. Hamilton-Pfade sind problematisch, wenn eine Sequenz mit Repeats durchsetzt ist (verändert nach www.bioalgorithms.info).



auf viele andere ebensolche Knoten. Jedes Repeat ist dann ein Bruchpunkt für die Assemblierung. Das Resultat sind extrem stark fragmentierte Assemblies: So zeigen Simulationen, dass das Genom des Fadenwurms *Caenorhabditis elegans* (110 Millionen Nukleotide lang) mit 50 Bp-Reads nur zur Hälfte und nur zu Contigs von maximal 10.000 Nukleotiden zusammengesetzt werden kann, ein natürlich unbefriedigendes Ergebnis. Sanger-Reads mit 1.000 Bp Leseweite haben hingegen im Humangenom die meisten Repeat-Hürden erfolgreich genommen und Contigs in nahezu vollständiger Chromosomenlänge ermöglicht.

Als Lösungsansatz für NGS-Verfahren bietet es sich an, sogenannte „paired end“-Information zu benutzen. Dabei werden die DNA-Moleküle eines Genoms vor der Sequenzierung so getrimmt, dass sich deren zu sequenzierende Enden in einem vom Experimentator bestimmten festen Nukleotidabstand befinden. Diese Abstandsinformation wird bei der Assemblierung genutzt, um repetitive Bereiche zu überbrücken. Doch auch neue algorithmische Möglichkeiten tun sich auf. Pevzner und Kollegen haben beispielsweise für die Assemblierung anstatt des NP-schweren Hamilton-Pfads die Variante eines Euler-Pfad-Ansatzes („de Bruijn-Graph“) vorgeschlagen, der effiziente Lösungen in linearer Zeit verspricht. Hierbei werden anstatt der Knoten (Sequenzen) alle Kanten (Nukleotidüberlappungen) nur einmal begangen.

Ungeachtet der aktiven bioinformatischen Forschung zeigen unsere Vergleiche implementierter Assemblierungswerkzeuge deutliche Unterschiede in ihrer Performance: So variierte kürzlich die Anzahl von erstellten Contigs eines 45.000 Reads umfassenden cDNA-Sequenzierungsprojekts zwischen 400 und 7.000. Natürlich ist so ein Ergebnis durch Assemblierungsparameter bedingt, wie etwa die Länge und Match-Qualität der erforderlichen Überlappung zweier Sequenzen. Oftmals verhalten sich gerade die von NGS-Unternehmen mitgelieferten „Komplettlösungen“ wie eine „Schwarze Box“ mit intern definierten Einstellungen. Auch geeignete Benchmarking-Datensätze sind rar, so dass es schwer fällt, das derzeit bestfunktionierende Tool zu identifizieren. Darüber hinaus stoßen kleine Arbeitsgruppen, selbst solche mit kleinen Cluster-Architekturen, bei umfangreiche-

ren Assemblierungsprojekten rechnertechnisch an Grenzen. Hier wird es Aufgabe sein, die universitären Rechenzentren und NGS-Lieferanten zur Anpassung der Firmensoftware auf die hauseigenen Systeme zu bewegen.

Die Erstellung von Contigs für Genomsequenzen oder mRNA-Transkripte stellt zudem nur den Anfang der bioinformatischen Analyse dar. Erst danach erfolgt die Suche nach dem Informationsgehalt der Sequenzen. Diese *downstream*-Analyse erfordert erneut die intensive Zusammenarbeit von Molekularbiologen und Bioinformatikern. Hier wird ein entscheidendes Erfolgskriterium der neuen Sequenzierungstechniken liegen.

Genomforschung und NGS in Mainz

Die Genomforschung hat Tradition in Mainz. Schon Ende der 1970er Jahre wurden in der AG Schmidt kleine Genomabschnitte sequenziert. Nach Einführung der fluoreszenzbasierten Sanger-Sequenzierung 1990 konnten wir uns an internationalen Genomprojekten beteiligen, so zum Beispiel 1996 an der Entschlüsselung des Hefe-Genoms. Eine deutlich anspruchsvollere Größenordnung war das Humangenomprojekt. Wir haben den damals innovativen Ansatz der „komparativen Genomik“ verfolgt, indem wir parallel einen humangenetisch interessanten Chromosomenabschnitt des Menschen (eine Million Nukleotide auf Chromosom 11p15.3) und die entsprechende Region des Mausgenoms (Chromosom 7) sequenziert haben. Durch Vergleich der homologen Sequenzabschnitte konnten wir in den zunächst anonymen Sequenzen die konservierten Genstrukturen exakt definieren. Mit Einführung der NGS-Technologie wird die Diversität und Zahl der Genomik-Projekte nun erheblich angewachsen:

■ In der AG Zischler (Anthropologie) wird eine völlig neue Genklasse, piRNA genannt, untersucht. piRNA-Genen kommt eine wichtig Funktion in der Abwehr „springender“ Nukleinsäuren (Transposons) zu, die über evolutionäre Zeiträume in der Lage sind, Genome regelrecht zu parasitieren. Durch Katalogisierung der vermutlich mehr als 50.000 piRNA-Genloci im Menschen und in nicht-humanen Primaten soll erforscht werden, wie piRNA-Pools die Besiedlung von Genomen mit springender DNA kontrollieren. Nur NGS-Methoden können mit angemessenem Aufwand die erforderlichen Daten produzieren.

■ Die prähistorische Populationsgenetik steht im Mittelpunkt des Interesses der AG Burger (Anthropologie, Palaeogenetik). Im Spurenlabor untersuchen die Anthropologen alte DNA aus archäologischen Skeletten des Menschen und seiner Haustiere. Ziel ist die Rekonstruktion der Besiedlungsgeschichte Europas und Zentralasiens. Durch NGS kann die bisherige Datenmenge etwa zwanzigfach erhöht werden, wo-

mit eine detaillierte Rekonstruktion prähistorischer demographischer Dynamik möglich wird.

■ Die AGs Lieb (Zoologie) und Hankeln (Molekulargenetik) arbeiten im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1174 „Deep Metazoan Phylogeny“ mit großen Sequenzdatensätzen (sogenannte Phylogenomik) an der Aufklärung der stammesgeschichtlichen Stellung und des Genrepertoires exotischer Tiergruppen, für die es bislang keine Gen(om)information gibt. Hierzu zählen extrem seltene Molluskenarten aus der Tiefsee sowie Rädertierchen mit ungewöhnlichen Fähigkeiten zur Trockenheitstoleranz und Strahlungsresistenz.

■ In Kooperation mit der Uni Frankfurt bearbeitet die AG Hankeln auch ökologische und evolutionsbiologische Fragestellungen bei Zuckmücken, deren Larven in Gewässer-Ökosystemen einen Großteil der Biomasse ausmachen. Obgleich Chironomiden etablierte Modellorganismen der Ökotoxikologie darstellen, ist ihr Genom quasi unerforscht. Durch NGS-Transkriptomanalyse sollen Gene identifiziert werden, die eine klimatische Anpassung von Chironomiden steuern und eine Grundlage für Artbildungsprozesse darstellen.

■ Als Mitglied im EU-Konsortium „EUROGrow“ identifiziert die AG Schmidt (Molekulargenetik) durch NGS-Transkriptomanalyse Gene, die beim Aufbau von Knochen und Knorpel eine Rolle spielen. Ziel ist die Aufklärung der Genexpressionsmuster bei der Differenzierung mesenchymaler Stammzellen. Die *in vitro*-Differenzierung dieser Zellen zu Chondroblasten und Chondrozyten ist in der regenerativen Medizin von großem Interesse.

Das neue Zentrum für Genomsequenzierung soll an die vorhandenen Nukleinsäureanalytik-Einrichtungen angegliedert werden. Wir planen zunächst die Etablierung der 454-Technologie, die insbesondere eine *de novo*-Sequenzierung erlaubt. In einer zweiten Ausbaustufe soll für komplementäre Anwendungen eine Short-Read-Plattform etabliert werden. Eine adäquate Verarbeitung und Auswertung der Daten erfordert entsprechend leistungsfähige Rechneranlagen und bioinformatische Kompetenz. Ein Kernstück des neuen NGS-Zentrums ist daher der Forschungsschwerpunkt „Rechnergestützte Forschungsmethoden in den Naturwissenschaften“, der einen klaren Standortvorteil für die Universität darstellen wird.

■ **Summary**

Life science research is currently being revolutionized by novel ultrahigh-throughput methods for deciphering genomic information of organisms. Within a few years, these new DNA sequencing technologies (termed “Next-Generation Sequencing”, NGS) will most probably allow us to know our own personal genome at reasonable costs, with

enormous biomedical impact. The huge amounts of sequence data produced by NGS, however, create big challenges for bioinformatics methods to keep pace. The University of Mainz “Competence Center for Nucleic Acid Analysis” and the research focus “Computational Sciences Mainz” are joining forces to centrally establish NGS technology.

■ **Kontakt**

Univ.-Prof. Dr. Thomas Hankeln
 Institut für Molekulargenetik, gentechnische Sicherheitsforschung und Beratung
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Johann-Joachim-Becher-Weg 30a
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 23 277
 Fax +49 (0) 6131-39 24 585
 Email: hankeln@uni-mainz.de

Univ.-Prof. Dr. Thomas Hankeln



Privat

Thomas Hankeln, Jahrgang 1959, hat Biologie und Geographie an der Ruhr-Universität Bochum studiert und dort 1990 promoviert. Nach seinem Wechsel nach Mainz hat er Themen der Genomforschung bearbeitet und sich 1998 mit Arbeiten zur Molekularen Evolution von Genfamilien im Fach Genetik habilitiert. Seit 2001 ist Thomas Hankeln C3-Professor am Institut für Molekulargenetik der Johannes Gutenberg-Universität. Gegenwärtige Forschungsgebiete umfassen die Identifizierung von Genen durch vergleichende Genomanalyse, die Funktionsaufklärung solcher Gene in Tiermodellen sowie die Verwendung von Genomdaten zur phylogenetischen Systematik. Thomas Hankeln ist Mitgründer des seit 1998 bestehenden Biotechnologieunternehmens GENterprise GmbH, das im Bereich der Genomforschung Service-Dienstleistungen anbietet sowie Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchführt.

Univ.-Prof. Dr. Hans Zischler



Privat

Hans Zischler, Jahrgang 1957, studierte Biologie an den Universitäten Hohenheim und Tübingen. Er hat seine Doktorarbeit am Max-Planck-Institut (MPI) für Psychiatrie in München angefertigt und wurde 1991 promoviert. Nach Postdoc-Zeiten am MPI für Psychiatrie und an der Ludwig-Maximilians-Universität München übernahm er 1997 die Leitung der Arbeitsgruppe Primatengenetik am Deutschen Primatenzentrum in Göttingen. 2002 wurde er auf den Lehrstuhl für Anthropologie der Universität Mainz berufen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Analyse von evolutionären Mustern und Prozessen innerhalb der Divergenz nicht-humaner Primaten und des Menschen.

Univ.-Prof. Dr. Erwin R. Schmidt



Privat

Erwin R. Schmidt, Jahrgang 1949, studierte von 1967 bis 1973 Biologie und Chemie an der Justus Liebig-Universität in Gießen und hat 1975 dort in Genetik promoviert. Von 1975 bis 1978 war er DFG Postdoc an der Ruhr-Universität Bochum im Fachbereich Biologie, ab 1978 wissenschaftlicher Assistent im Institut für Genetik im FB Medizin. Er habilitierte 1985 in Genetik. 1989 folgte er einem Ruf auf eine Professur für Molekulargenetik nach Mainz. 1992 erhielt er den Ruf auf eine Professur für Genetik in Stuttgart-Hohenheim, kehrte aber nach einem Jahr Stuttgart als Professor für Molekulargenetik zurück nach Mainz. 1994 wurde er Leiter des unter seiner Mitwirkung neu gegründeten Instituts für Molekulargenetik, gentechnologische Sicherheitsforschung & Beratung. 1998 gründete er zusammen mit Kollegen die Biotechnologiefirma GENterprise. Seit April 2008 dient er dem Fachbereich Biologie als Dekan.

Religion und Frieden

Von Christiane Tietz

Das Thema „Religion und Gewalt“ hat Konjunktur. Unzählig sind die wissenschaftlichen wie populären Analysen des Gewaltpotentials von Religion. In der Öffentlichkeit besonders wahrgenommen wurde die holzschnittartige These des amerikanischen Politologen Samuel Huntington, nach dem Ende des Kalten Krieges würden Konflikte nun durch die Gegensätze zwischen den Kulturen (engl. civilizations) bedingt. Laut Huntington kommt den Religionen bei der Prägung jener Kulturen und damit auch bei den erzeugten Konflikten die wichtigste Bedeutung zu.

Wie schematisch und undifferenziert Huntingtons Untersuchung zum „Clash of Civilizations“ daher kommt, ist oft bemerkt worden und braucht hier nicht wiederholt zu werden. Vor allem ist die grundsätzliche Behauptung Huntingtons nicht haltbar, die Verschiedenheit der Religionen sei die zentrale Quelle von Gewalt und Krieg. Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass Religion nur selten selber Konflikte auslöst. Wohl aber kann sie ökonomische und machtpolitische Zwietracht verschärfen. Und wenn sie dies tut, dann immer erheblich. Wodurch? Einige grundsätzliche Überlegungen dazu sind im Folgenden dargestellt.

Konflikte im Bereich von Ökonomie und Politik machen Mitmenschen zu Gegnern. Religion verschärft diese Gegnerschaft, wenn sie den Gegner nicht nur als meinen Feind, sondern als Feind des Göttlichen versteht. Jean-Jacques Rousseau schätzt die Konsequenzen realistisch ein: „Selbst Engel würden mit den Menschen nicht in Frieden leben, wenn sie dieselben als Feinde Gottes betrachteten.“

Ähnlich zuspitzend wirkt es, wenn Religion zu Kompromissen unfähig macht. Das kann etwa dadurch passieren, dass eine Streitpartei eine Absolutheit göttlicher Vorschriften behauptet und diese somit weder relativiert noch zur Disposition gestellt werden dürfen. Handlungen, die den göttlichen Anweisungen entsprechen, erscheinen als unbegrenzt legitim, alle Mittel zur Durchsetzung der Vorschriften als heilig. Schließlich wirkt auch eine in fundamentalistischen Kreisen zu findende geschichtsphilosophische Interpretation der Moderne in die gleiche Richtung, wenn sie lautet: „Die neuzeitliche Autonomie und der selbständige Vernunftgebrauch sind der große Abfall von Gott.“ Fundamentalisten fühlen sich dann dazu legitimiert, auf eine rationale Begründung ihrer Po-

sitionen, die die Autonomie der anderen respektiert, zu verzichten. Legitim erscheint ihnen umgekehrt die (notfalls gewaltsame) „politische... Durchsetzung von eigenen Überzeugungen ... auch dann ..., wenn diese alles andere als allgemein akzeptabel sind“ (Jürgen Habermas).

Angesichts dieser reichlich ernüchternden Bestandsaufnahme zur Konfliktverschärfung durch Religion drängt sich vor allem eine Frage auf: Müsste man nicht im Namen des Pazifismus die Forderung erheben, auf Religion gänzlich zu verzichten? Doch hier gilt wohl die Mahnung des Philosophen Odo Marquard: „Wer angesichts von ... Knollenblätterpilzen die Forderung erhebt, man solle das Essen gänzlich bleibenlassen, der geht ... einfach zu weit“. Eher wird es darauf ankommen – um im Bilde Marquards zu bleiben – zwischen solchen Elementen von Religion, die dem Frieden „bekömmlich“ sind, und solchen, die dies nicht sind, zu unterscheiden und die derart differenzierte Religion in die Bemühungen um den Frieden in der Welt einzubeziehen. Denn Religion wird so schnell nicht aus dieser Welt verschwinden, eher scheint ihre Bedeutung zuzunehmen. Man mag dies bedauern, man mag dies begrüßen. Auf jeden Fall erweist es sich als dringlich, zusammen mit den Religionen, und nicht gegen sie, auf eine friedlichere Welt hinzuwirken.

Aus diesem Grund ist es unerlässlich, auch Frieden fördernde Aspekte von Religion wissenschaftlich zu analysieren.¹ Religiöses Gewaltpotential lässt sich nicht nur durch Kritik von Religion, sondern eben auch durch die Erinnerung an religiöses Friedenspotential eindämmen.

Eine solche Erinnerung ist in Bezug auf alle Religionen möglich. Denn in allen Religionen, so hat die religionswissenschaftliche Forschung der letzten Jahre gezeigt, sind sowohl Möglichkeiten zu Krieg als auch zu Frieden enthalten. Jede Religion hat ihre gewaltsamen und ihre friedlichen Potentiale realisiert – und realisiert sie noch. Keine Religion kann die Gewalttaten anderer Religionen aufzählen und dann über deren Schlachtfeldern quasi engelsgleich oder wie eine Friedenstaube aufsteigen.

Nachfolgend soll das Friedenspotential von Religion exemplarisch am Christentum vorgeführt werden. Dies ist freilich nur im selbstkritischen Bewusstsein dessen möglich, dass das Christentum sein eigenes Friedenspotential nur allzu oft *nicht* fruchtbar ge-



Quelle: <http://religionen-und-gewalt.uni-hd.de/>

Gehört Gewalt zum Wesen von Religion?

macht hat, und im Wissen darum, dass solches Friedenspotential auch bei anderen Religionen zu finden ist. Entsprechend kann das Sprechen vom Friedenspotential des Christentums nur *ein* Beitrag zum Frieden in der Welt sein. Doch ein *Beitrag* zum Frieden in der Welt, dies ist, so scheint mir, nicht nichts.

„Friede macht Reichtum, Reichtum macht Übermut, Übermut bringt Krieg, Krieg bringt Armut, Armut macht Demut, Demut macht wieder Frieden.“ Frieden aber macht Reichtum ... – diese bei Julius Zinkgref überlieferte Weisheit erzählt den Wechsel von Frieden und Krieg als immerwährenden Kreislauf, aus dem es kein Entkommen gibt. Solch ein Zyklus gehört zum Menschsein dazu. Frieden ist dann die Pause zwischen zwei Kriegen. Kriege aber sind menschlich – wie auch die Sehnsucht nach Frieden. Freilich ist es *der Frieden selbst*, der das Potential zum Krieg, eben Reichtum und dann Übermut, aus sich entlässt. Er selbst scheint problematisch zu sein.

Anders die Bewertung des Friedens in den Texten der Bibel. Hier ist Frieden etwas vorbehaltlos Positives. Denn Frieden ist nach dem Urteil der biblischen Texte nicht schon gegeben durch den Zustand des ruhigen, Reichtum ermöglichenden Gütererwerbs. Frieden bedeutet, insbesondere in seinem alttestamentlichen Verständnis als Schalom, dass alle Lebensbereiche in einem sich gegenseitig befördernden Zustand stehen. Ein solcher Friede schließt auch gelungene Beziehungen ein. Deshalb ist die Gefahr des Krieges in einem solchen Frieden nicht mehr gegeben. Frieden kann so echtes Ziel sein, nicht nur Durchgangstation in einem in ewiger Wiederkehr des Gleichen durchlaufenen Kreis. Dass es dennoch immer wieder zu Gewalt und Krieg kommt, ist nach biblischem Urteil nicht dem Frieden anzulasten, sondern dem Menschen. Das legt wiederum nahe, dass Konzepte für einen Frieden, der mehr ist als die Unterbrechung von Krieg, beim Menschen ansetzen müssen. Sie sollten fragen, was *im Menschen* anders werden muss, damit es zum Frieden kommt.

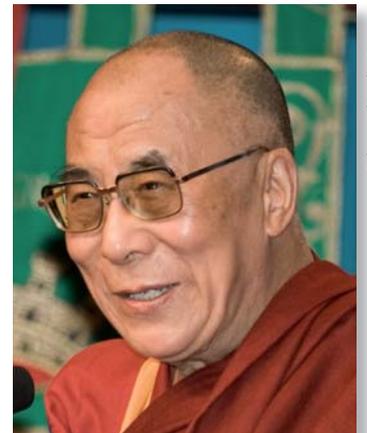
Inwiefern kann dafür des Menschen persönliche religiöse Überzeugung bedeutsam sein? Um dies genauer zu beschreiben, vermag eine friedentheoretische Betrachtung der christlichen Vorstellung zum Verhältnis, das zwischen Mensch und Gott besteht, hilfreich zu sein. Die Theologen des antiken Christentums haben den Zustand des Menschen durch das Bild der Feindschaft des Menschen gegen Gott beschrieben. Und sie haben umgekehrt im Anschluss an biblische Begrifflichkeiten Frieden mit Gott als das Ende der Feindschaft des Menschen gegen Gott geschildert. Gott selbst wird dabei gezeichnet als derjenige, der auf des Menschen Feindschaft nicht mit Feindschaft, sondern mit Liebe reagiert, als der, der – biblisch gesprochen – auf des Menschen Sünde mit Vergebung antwortet. Nun werden Konflikte zwischen Menschen, auch solche, die religiös verschärft werden, nicht sel-

ten dadurch ausgelöst, dass der oder die andere als Bedrohung der eigenen Existenz wahrgenommen wird. Feindschaft versteht sich dann als Reaktion auf Feindschaft. Die Antwort auf die Frage, wer mit der Feindschaft „angefangen“ hat, wird in dieser Logik zur Voraussetzung von Frieden. Die christliche Gottesvorstellung hält uns eine andere Logik vor Augen: Frieden beginnt mit einem einseitigen, zuvorkommenden Unterfangen, welches die Feindschaft des anderen quasi ins Leere laufen lässt.

Auch im Selbstverhältnis des Menschen gibt es so etwas wie Feindschaft. Angesichts dessen, was er in der Vergangenheit getan hat, kann sich der Mensch selbst Feind sein, also sich hassen wegen seiner Taten. Und er kann sich Feind sein angesichts dessen, was er hat erleiden müssen. Der Mensch kann sich schließlich Feind sein wegen seines eigenen Versagens, wegen der Dinge, die er nicht oder nur unzureichend getan hat. Wenn der Mensch dieses Versagen nicht in sein Selbstbild integriert, sind Selbstfeindschaft und Selbsthass unvermeidlich; die Narzissmusforschung hat diesen Zusammenhang zwischen Enttäuschung über das eigene Ungenügen und Selbstverachtung eindrücklich herausgearbeitet.

Nach christlicher Auffassung vermag Friede mit Gott auch für einen Frieden mit sich selbst dienlich zu sein. Wenn die christliche Tradition Gott als jemanden beschreibt, der jedem Menschen bedingungslos zugewandt ist, dann behauptet sie, dass der Mensch nicht durch seine Taten, Untaten oder Unterlassungen definiert wird. Denn für sein Gottesverhältnis sind sie nicht konstitutiv. Diese Unterscheidung des Menschen von seinen Taten, von seinem Leiden und seinem Versagen ermöglicht ihm eine Distanz zu dem, was er an sich hasst und so die Chance, sich damit auseinanderzusetzen. Gleichzeitig lautet die christliche Vorstellung: Der Mensch steht als ganze Person, also mit seinen Taten, seinem Versagen und seinem Leiden, in diesem Gottesverhältnis. Anders formuliert: Gott hält es mit dem aus, was der Mensch an sich hasst. Deshalb kann es auch der Mensch „bei sich selbst aushalten“ – wie Friedrich Nietzsche formulierte.²

Dieser „Frieden mit sich selbst“ klingt beschaulich, kann aber ungeheure politische Konsequenzen haben: Verführbarkeit zum Krieg ist nämlich dann besonders groß, wenn der Mensch seine inneren Konflikte nicht löst. Dann ist er, wie psychoanalytische Forschungen gezeigt haben, so von Ängsten und Aggressionen bestimmt, dass das Kriegführen als Erleichterung verschaffender Ausweg erscheint. Solches gilt insbesondere im religiösen Kontext: Der innere Hass gegen sich selbst, der beispielsweise in dem Gefühl gründen kann, Ansprüchen nicht zu genügen, wird im religiösen Kontext leicht externalisiert auf Ungläubige, die den Ansprüchen Gottes nicht genügen. Frieden mit sich selbst im beschriebenen Sinne unterbricht diese Abläufe an der Wurzel.



Luca Galuzzi / Wikimedia Commons

Das Friedenspotential des Buddhismus scheint unstrittig zu sein.



Joe Gough / Okeo © www.fotografie.de

Jede Religion enthält auch friedensförderliche Elemente.

Noch eine weitere Auswirkung der christlichen Gottesvorstellung auf den Umgang mit den anderen Menschen sei in den Blick gehoben. Krieg und Kampf gegen einen anderen beginnt man insbesondere dann, wenn man ihn für schwach und sich selbst für so stark hält, dass eine gewaltsame Auseinandersetzung aussichtsreich erscheint. Dies wird religiös aufgeladen, wo man die eigene (militärische oder wirtschaftliche) Stärke als Wirkung der Gnade und Gunst eines Gottes versteht. Die im christlichen Glauben geltend gemachte Einsicht, dass der Wert eines Menschen nicht an dessen Stärke oder Schwäche hängt, sondern an der ungeschuldeten, von Gott selbst geschenkten Gottesbeziehung, sollte die Perspektive auf die Schwäche des anderen verändern: Sie verbietet ein Ausnutzen dieser Schwäche und stellt den anderen in seiner unveräußerlichen, weil in Gottes Zuwendung begründet gedachten Menschenwürde vor Augen.

Frieden, so hieß es bereits, ist nach biblischem Verständnis mehr als die Abwesenheit von Feindschaft und Krieg. Frieden ist für die biblischen Texte ein umfassend lebensförderlicher Zustand, Schalom. Damit wird daran erinnert: Frieden mit einem anderen haben heißt sein Leben fördern. Nur durch einen solchen Frieden, der das Leben des anderen fördert, lässt sich Krieg tatsächlich vermeiden. Daraus folgt: Wo Frieden zwar Abwesenheit von Krieg bedeutet, aber nicht lebensförderlich ist, dort ist der christliche Friedensgedanke noch nicht realisiert. Dort ist im Gegenteil ein Streit gefordert, der Konstellationen benennt und Spannungen bearbeitet, die dem Leben nicht förderlich sind.

Im Kontext religiös verschärfter Gewalt heißt das konkret: Das Ende des gegenseitigen Sich-Umbringens ist zweifellos das vorrangige Ziel eines Friedens zwischen den Religionen. Frieden zwischen den Religionen muss aber noch mehr implizieren, nämlich auch das kritische Gespräch über Elemente der fremden (und eigenen) Religion, die nicht lebensförderlich sind. Zum Frieden zwischen den Religionen gehört deshalb unbedingt die Auseinandersetzung um Menschenrechte und Gerechtigkeit. Für Frieden zwischen den Religionen wird aber auch der Aufbau von Vertrauen durch ausdauernden Dialog zwischen Anhängern unterschiedlicher Religionen grundlegend sein. Ein solches interreligiöses Gespräch hat bereits selber Frieden fördernden Wert. Denn, so könnte man in Abwandlung eines Satzes von Gottfried Benn formulieren: „Kommt, reden wir zusammen. Wer redet, schlägt nicht tot!“

■ **Summary**

Recently, intensive discussions have been conducted on religion and its potential for violence. Religious differences seldom cause conflicts, yet can intensify them enormously. Research on religions' peace potential can be instrumental in fostering peace. The article exemplifies this peace potential in regard to the Christian religion. But of course it does not claim that only Christianity has a potential for peace or that Christianity has no potential for violence. All religions have a capacity for both.



Regina Shin

Univ.-Prof. Dr. Christiane Tietz

Christiane Tietz, geboren 1967, studierte Mathematik und Evangelische Theologie in Frankfurt am Main und Tübingen; es folgten im Jahr 1999 die Promotion und 2004 die

Habilitation in Tübingen; Gastdozentin unter anderem an den Universitäten Cambridge und Heidelberg sowie am Union Theological Seminary in New York City; 2006-2008 Heisenberg-Stipendiatin der DFG; WS 2007/08 Member in Residence am Center of Theological Inquiry in Princeton; seit dem Sommersemester 2008 Lehrstuhlinhaberin für Systematische Theologie und Sozialethik an der Universität Mainz; Mitglied im Trägerkreis des DFG-geförderten Graduiertenkollegs „Die christlichen Kirchen vor der Herausforderung ‚Europa‘ (1870 bis zur Gegenwart)“; Vorsitzende der Internationalen Bonhoeffer-Gesellschaft, Sektion BRD. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Religion und Politik, Interreligiöser Dialog sowie Dietrich Bonhoeffer.

■ **Kontakt**

Univ.-Prof. Dr. Christiane Tietz
 Evangelisch-theologische Fakultät
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Saarstraße 21
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 25 576
 Email: christiane.tietz@uni-mainz.de
<http://www.ev.theologie.uni-mainz.de/1457.php>

Literatur

1. Vgl.: Das Friedenspotenzial von Religion. Hrsg. Irene Dingel und Christiane Tietz, Göttingen 2009.
2. Vgl.: Christiane Tietz, Freiheit zu sich selbst. Entfaltung eines christlichen Begriffs von Selbstannahme, Göttingen 2005.

Armut und Überschuldung privater Haushalte

Von Michael Bock, Klaus Breuer, Curt Wolfgang Hergenröder, Stephan Letzel, Eva Münster und Cornelia Schweppe

Armut und Überschuldung privater Haushalte sind zu einem gesellschaftspolitischen Problem ersten Ranges geworden. Den komplexen Ursachen und den vielfältigen Folgen widmet sich das interdisziplinäre Exzellenzcluster „Gesellschaftliche Abhängigkeiten und soziale Netzwerke“ des Landes Rheinland-Pfalz, das an den Universitäten Trier und Mainz angesiedelt ist.

Der 3. Armuts- und Reichtumsbericht der Bundesregierung weist erneut auf gravierende Armutsprobleme sowie auf die Verschuldungsproblematik privater Haushalte hin. Für die nächsten Jahre wird angesichts der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung ein weiterer Anstieg armutsbedingter Problemlagen und von Privatinsolvenzen prognostiziert. Die Ursachenzusammenhänge sind komplex; ihre Folgen wurden bislang nur ansatzweise untersucht. Neben ökonomischen und juristischen Problemen der Betroffenen können gesundheitliche und soziale Beeinträchtigungen wirksam werden und eine Reduzierung der Teilhabechance in unserem Gesellschaftssystem zur Folge haben. Maßnahmen der Unterstützung für die besonders anfällige Gruppe von armen und zahlungsunfähigen Personen sowie Präventionsstrategien zur Vermeidung von Armut und Überschuldung werden dringend notwendig. Auch die wechselseitigen Zusammenhänge zwischen Kriminalität und Schulden verdienen Beachtung.

Transdisziplinarität als Programm

Die Untersuchung dieser Zusammenhänge erfordert ein transdisziplinäres Vorgehen, das die multidimensionale Problemlage der Betroffenen berücksichtigt. Das hier vorgestellte Exzellenzcluster des Landes Rheinland-Pfalz widmet sich dieser Thematik aus den verschiedenen Blickwinkeln. Ziel der Mainzer Forschergruppe, deren Mitglieder aus der Erziehungswissenschaft, der Kriminologie, den Rechtswissenschaften, der Sozialmedizin sowie der Wirtschaftspädagogik kommen, ist die nähere Erforschung der Ursachenzusammenhänge zwischen der Entstehung von Armut und Schulden, den Auswirkungen dieser Problemlagen auf die wirtschaftliche, rechtliche, soziale und gesundheitliche Lebenssituation sowie dem Bewältigungshandeln der daraus resultierenden Probleme. Die transdisziplinäre Zusammenarbeit und der permanente Austausch innerhalb des Forschungsverbundes ermöglichen es, die Problematik der Überschuldung in ihrem ganzen Facettenreichtum zu erfassen und Lösungsstrategien zu entwickeln.

Armut und Migration

Die Lebenslagen von Menschen mit Migrationshintergrund sind in Deutschland überproportional durch knappe finanzielle Ressourcen gekennzeichnet. Wie allerdings diese Personengruppe armutsbedingte Problemlagen bewältigt und welche Wege und Strategien sie zu deren Linderung entwickelt, ist kaum bekannt. Als zentrales Ergebnis des erziehungswissenschaftlichen Projekts lässt sich festhalten, dass es nicht (nur) die mangelnden finanziellen Mittel sind, die im Zentrum der Belastungen armer Migrantinnen und Migranten stehen. Vielmehr zeigt sich, dass die zentralen Belastungen aus Ausgrenzungsprozessen und mangelnder Anerkennung resultieren, die arme Menschen mit Migrationshintergrund erfahren, und die dementsprechend im Mittelpunkt des Bewältigungshandelns stehen. Die Bewältigung von Schulden und Armut unter den Bedingungen der Migration zielt dementsprechend nicht nur auf die Linderung der finanziellen Problemlagen ab, sondern geht insbesondere mit dem Streben nach gesellschaftlicher Anerkennung und Partizipation einher. Die Studie zeigt auch, dass die Lebenssituation armer und verschuldeter Migrantinnen und Migranten durch vielfältige grenzüberschreitende Verflechtungen mit ihrem Herkunftsland geprägt ist. Viele von ihnen unterstützen ihre noch ärmeren Familienmitglieder im Herkunftsland oder in anderen Ländern. Zum Teil führt dies zu einer Verschlechterung ihrer eigenen Situation in Deutschland. Arme Migrantinnen und Migranten greifen aber auch auf transnationale Verbindungen zur Bewältigung ihrer eigenen (finanziell) prekären Situation zurück. Damit werden transnationale Perspektiven für die Untersuchung von Armut und Schulden eröffnet.

Exklusion und Inklusion bei Strafgefangenen mit Migrationshintergrund

Vielfach müssen sich junge Migrantinnen und Migranten mit starken wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Abhängigkeiten auseinandersetzen. Eine Reaktionsform darauf ist die Begehung von Straftaten. Gesellschaftlich fordert diese Reaktionsform besonders heraus und mahnt, die damit verbundenen Fragen nicht nur zu stellen, sondern auch nach Lösungen zu suchen. Anhand der Biographien von jungen Menschen mit Migrationshintergrund wird untersucht, ob und wie sich Kontakte teils integrierend, teils aber auch eskalierend auswirken können. Über Netzwerke können etwa Arbeits- oder Ausbildungsplätze, aber

© Peter Reinacker / PIXELIO



Einzelhaft.

Wissen gesteuert wird. Diese Annahme steht in der Tradition des klassischen Informationsverarbeitungsansatzes der Cognitive Science. Dabei wird angenommen, dass intelligentem Handeln ein bewusstes Abwägen von Wissen vorausgeht. Diese unmittelbare Kausalität von Wissen und Handeln wird in vielen Bezügen nicht kritikfrei angenommen. Praktische Fertigkeiten können zwar ursächlich wissensmäßig angeleitet sein, mit zunehmender Erfahrung jedoch werden diese Kenntnisse nicht mehr notwendigerweise bewusst kontrolliert. Daher soll die Frage analysiert werden, ob finanzielles Handeln, neben

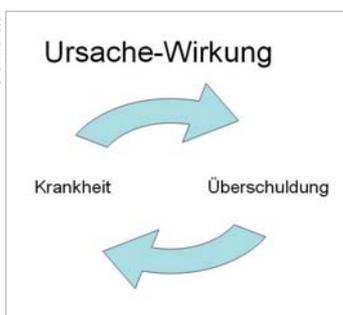
auch Schwarzarbeit vermittelt werden. Manche Kontakte bergen Rückzugsmöglichkeiten, andere stellen Hilfe bei Behördenkontakten oder den Zugang zu Drogen bereit. Dieser Ambivalenz sozialer Netzwerke gebührt das besondere Forschungsinteresse. Insgesamt werden im Projekt 42 Probanden untersucht. Je 14 von ihnen haben einen türkischen bzw. kurdischen oder einen nordafrikanischen Migrationshintergrund, die übrigen 14 sind Aussiedler. Die Teilnehmer der Studie werden einzeln besucht und interviewt. Gemeinsam ist allen 42 Probanden, dass sie infolge von Straftaten eine (Erst-)Inhaftierung erfahren haben. Während die eine Hälfte nach der Entlassung innerhalb von drei Jahren keine weiteren Straftaten mehr beging, ist die andere Hälfte erneut mit Straftaten in Erscheinung getreten. Den Ursachen dieser unterschiedlichen Verläufe wird im Rahmen der Forschung intensiv nachgespürt. Mithilfe des Vergleichs sollen so Rückschlüsse für erfolgversprechende Integrationsstrategien gezogen und als Vorschläge an die relevanten Akteure weitergegeben werden.

dem Wissen, durch weitere Indikatoren determiniert wird und ob die bisherigen Präventionsansätze vor dem Hintergrund dieser Hypothese überdacht werden müssen. Wissen wird dabei als die für das Entscheidungsverhalten originäre Determinante interpretiert, die von weiteren Dimensionen des Geldverhaltens, wie sozioökonomischen oder psychologischen Faktoren, flankiert wird.

Überschuldung und Gesundheit

Um nachhaltige Bewältigungsstrategien und Präventionsprogramme für überschuldete Privatpersonen in Deutschland entwickeln zu können, müssen evidente Daten zur Gesundheits- und Lebenssituation generiert werden. Erstmals wurde daher eine quantitative sozialmedizinische Befragungsstudie an überschuldeten Privatpersonen durchgeführt. Insgesamt haben 666 Personen (51,1 Prozent Frauen) im Alter zwischen 18 und 79 Jahren (Median 41 Jahre) bei einer Teilnahmequote von 35,5 Prozent an dieser ASG-Studie (Armut, Schulden und Gesundheit) teilgenommen. Insgesamt 79,1 Prozent der Probanden gaben an, derzeit an mindestens einer Erkrankung zu leiden, wobei psychische Erkrankungen gefolgt von Gelenk- und Wirbelsäulenerkrankung (jeweils etwa 40 Prozent der Probanden) am häufigsten genannt wurden. Sowohl beim Individuum selbst als auch im Gesundheits- und Versorgungssystem muss agiert werden, um der prekären Gesundheitslage der überschuldeten Privatpersonen und deren Angehörigen entgegenwirken zu können und ihnen die Teilhabechance am Gesundheitssystem zu gewähren. Im besonderen Fokus der Forschung steht die Gesundheit der Kinder in überschuldeten Familien. Bereits jetzt ist deutlich, dass es nicht alleine Aufgabe der Schuldnerberatungsstellen sein kann, den Betroffenen zu helfen. Sozialmedizinische und psychosoziale Betreuung müsste ebenfalls seitens des Öffentlichen Gesundheitsdienstes und

© E. Münster



Der Teufelskreis von Schulden und Krankheit.

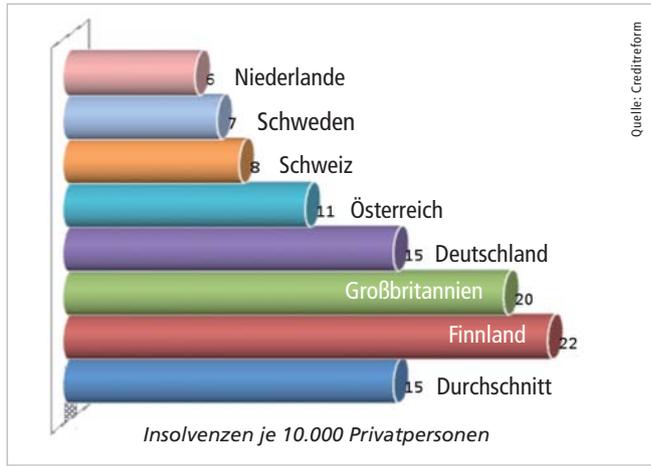
Mentale Modelle zu Kreditbeziehungen in Netzwerken

Neben den Folgen psychosozialer Destabilisierung führt Überschuldung nicht selten in den Zustand sozialer Deprivation bzw. Isolation. Im Zusammenhang mit Risikofaktoren für eine Überschuldung wird häufig der Mangel an finanzwirtschaftlichen Kenntnissen genannt. Daher wird nicht selten die Vermittlung finanzieller Allgemeinbildung als Schlüssel zur Überwindung von Armut gefordert. Dabei bleibt offen, welchen inhaltlichen Prämissen diese Forderung folgen soll und auf welche Ressourcen die individuellen Bewältigungsstrategien im Rahmen finanzieller Probleme zugreifen. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Überwindung monetärer Schwierigkeiten durch die Aktivierung von finanzwirtschaftlichem

der Krankenkassen implementiert werden, um das verfassungsmäßig verbürgte Sozialstaatsprinzip in Artikel 20 I unseres Grundgesetzes umzusetzen. Auch die Gesundheitsbehörden des Landes und der Kommunen müssen sich der Überschuldungsproblematik der Bevölkerung bewusst werden, ihre Verantwortung erkennen und entsprechend agieren.

Schuldenbekämpfung im europäischen Rechtsvergleich

Zahlungsunfähigkeit macht nicht vor den deutschen Grenzen halt. Viele Staaten sind hiervon betroffen. Die Gründe, die in ganz Europa zu Überschuldung und in der weiteren Konsequenz zu einer Privatinsolvenz führen, stellen sich in den einzelnen Ländern ähnlich dar. Äußerst unterschiedlich ist allerdings die Art und Weise, wie die betreffenden Rechts- und Gesellschaftsordnungen mit ihren zahlungsunfähigen Schuldnern umgehen. Während Verbraucher in Deutschland im Anschluss an ihr Verbraucherinsolvenzverfahren eine sechsjährige Wohlverhaltensphase durchlaufen und dann Restschuldbefreiung erlangen können, stellt sich die Situation für Schuldner in Großbritannien oder auch in Teilen Frankreichs viel günstiger dar. Hier kann Entschuldung binnen eines Jahres erlangt werden. Umgekehrt sehen andere Staaten wie Italien oder Ungarn überhaupt keine Möglichkeit einer entsprechenden Schuldbefreiung vor. Ziel des Projektes „Netzwerke der Schuldenbekämpfung im europä-



Privatinsolvenzen in den westeuropäischen Ländern.

schen Rechtsvergleich“ ist es, Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Umgangs mit Schulden in den europäischen Staaten zu untersuchen. Gleichzeitig lassen sich vor diesem Hintergrund Aussagen zur Bedeutung sozialer Netzwerke tätigen. Dabei wird der traditionelle Netzwerkansatz für den Bereich der juristischen Arbeit fortentwickelt und somit auch für diese Wissenschaftsdisziplin gangbar gemacht. Innerhalb des Teilprojekts sollen die Bedingungen und Wechselwirkungen der einzelnen Akteure im Rahmen der Verbraucherinsolvenz mittels einer Netzwerkanalyse sowie anhand einer rechtsvergleichenden Darstellung konkretisiert und deren Abhängigkeiten voneinander systematisiert werden.

Summary

Poverty and financial difficulties in private households have become a major socio-political problem. In Germany, about 10% of the population over 18 years are said to be over-indebted. Due to the current economic and social development, a further rise of poverty-induced problems and personal bankruptcy are predicted for the coming years. Measures to support poor and insolvent persons as well as strategies to prevent poverty and over-indebtedness will therefore be absolutely essential. The research group “Societal dependencies and social networks”, located at the universities of Mainz and Trier and funded by the “Excellence Initiative” of the state of Rhineland-Palatinate, has set itself the task of exploring the different facets of indebtedness in an interdisciplinary cooperation. Its main goal is to understand both the causal relations in the development of poverty and debts and the complex effects of insolvency on economic, legal, social and health-related aspects of life.

Literatur

Schulden, Armut, Netzwerke: historische Zusammenhänge – gegenwärtige Herausforderungen, Zeitschrift für Verbraucher- und Privatinsolvenzrecht, Sonderheft 2009.



Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael Bock
(Kriminologie)

Studium der Evangelischen Theologie und Soziologie in Tübingen und Frankfurt, Promotionen in Soziologie und Rechtswissenschaft, Habilitation für Soziologie in Tübingen, seit 1985 Professor für Kriminologie, Jugendstrafrecht, Strafvollzug und Strafrecht an der Johannes Gutenberg-Universität. Mehrfach Gastprofessor an der Universität Graz (Allg. Soziologie, Soziologische Theorie, Sozialphilosophie und Geschichte der Soziologie) und in Kolumbien (Jugendkriminalität und Jugendstrafrecht). Dort im März 2000 Ernennung zum Honorarprofessor der Universidad de los Andes in Bogota. Forschungen und Publikationen zur Methodologie und Geschichte der Sozialwissenschaften sowie zur Angewandten Kriminologie.

Privat



Univ.-Prof. Dr. Stephan Letzel
(Arbeits- und sozialmedizinisches Projekt)

Studium des Allgemeinen Maschinenbaus und der Medizin an der TU München und der Universität Erlangen-Nürnberg. 1988

Promotion und Approbation als Arzt. 1994 Habilitation in den Fächern der Arbeits- und Sozialmedizin. Seit 2001 Leiter des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz. Derzeit unter anderem Präsident der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. sowie Vorsitzender des Ausschusses für Arbeitsmedizin beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). Forschungsschwerpunkte: Toxizität von Arbeitsstoffen; Belastung und Beanspruchung durch die Einführung neuer Technologien (z. B. Aluminiumschweißen); berufsbedingte Malignome; Arbeitsmedizinische Bewertung von Altlasten; berufliche Einflussfaktoren auf die Verkehrssicherheit; psychomentele Belastungen und Beanspruchung am Arbeitsplatz; sozialrechtliche Fragestellungen; klinische Umweltmedizin; klinische Sozialmedizin. Autor der Expertise „Überschuldung, Gesundheit, soziale Netzwerke“ für den 3. Armuts- und Reichtumsbericht der deutschen Bundesregierung.

Privat



Univ.-Prof. Dr. Klaus Breuer
(Wirtschaftspädagogisches Projekt)

Studium der Fächer Bau-technik, Germanistik und Erziehungswissenschaft an der RWTH Aachen 1968-1972; Promotion in Erziehungswissenschaft in Aachen 1979; Referendariat in Aachen 1979-1980; Hochschulassistent an der Universität Paderborn 1981-1986 und 1988-1991; Referent in der Bertelsmann Stiftung Gütersloh 1986-1988; Partner in der Unternehmensberatung disce GmbH 1991-1994; Vertretung der Professur für Wirtschaftspädagogik an der Universität Mainz 1994-1995; seit Februar 1995 Professor für Wirtschaftspädagogik an der Johannes Gutenberg-Universität. Forschungsschwerpunkte: Berufsbezogene pädagogische Diagnostik; Lehr-Lernforschung in der beruflichen Bildung; selbstgesteuertes computergestütztes Lehren und Lernen.

Privat



Univ.-Prof. Dr. Curt Wolfgang Hergenröder
(Rechtswissenschaftliches Projekt)

Studium der Rechtswissenschaften sowie juristischer Vorbereitungsdienst in Konstanz und Paris. 1986 Promotion an der Freien Universität Berlin, 1994 ebendort Habilitation für die Fächer Bürgerliches Recht, Arbeitsrecht, Internationales Privatrecht und Zivilverfahrensrecht. Lehrtätigkeit an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald sowie der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt/Oder. 1994 Ruf an die Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Seit 2000 Inhaber des Lehrstuhls für Bürgerliches Recht, Arbeitsrecht, Handelsrecht und Zivilprozessrecht im Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität. Wissenschaftlicher Leiter der Forschungsstelle für Verbraucherinsolvenz und Schuldnerberatung (Schuldnerfachberatungszentrum) Rheinland-Pfalz.

Privat



Prof. Dr. Eva Münster
(Arbeits- und sozialmedizinisches Projekt)

Das Curriculum Vitae von Eva Münster finden Sie im Beitrag aus der Medizin, Seite 48.

Privat



Univ.-Prof. Dr. Cornelia Schweppe
(Sozialpädagogisches Projekt)

Studium der Erziehungswissenschaft und Sozialpädagogik in Deutschland, den USA und Frankreich; 1990 Promotion an der TU Berlin; 1998 Habilitation an der Universität Marburg; 1983-1990 Tätigkeit in der Entwicklungszusammenarbeit in Lateinamerika; 1990-1997 wissenschaftliche Assistentin an der Universität Marburg; 1998-2002 Professorin für Sozialpädagogik an der FH Darmstadt; seit 2002 Professorin für Sozialpädagogik am Institut für Erziehungswissenschaft der Johannes Gutenberg-Universität. Forschungsschwerpunkte: Internationalität und Transnationalität in der Sozialen Arbeit, Professionalisierung der Sozialen Arbeit, Armutsforschung, Alten- und Altenhilfeforschung.

Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Curt Wolfgang Hergenröder
FB Rechts- und Wirtschaftswissenschaften
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Jakob-Welder-Weg 9
D-55099 Mainz
Tel. +49 (0) 6131-3922 210
Fax +49 (0) 6131-3923 376
Email: cwh@uni-mainz.de

Gesundheitsversorgung von Gehörlosen in Deutschland

Von Eva Münster, Johannes Höcker und Luis Carlos Escobar Pinzón

Gehörlose verständigen sich bevorzugt mithilfe der Deutschen Gebärdensprache. Sie ist visuell-motorisch aufgebaut und verfügt über eine eigenständige Grammatik. Mit ihr kann eine verständliche und in allen Belangen vollständige Kommunikation geführt werden, solange der Gesprächspartner die Gebärdensprache beherrscht. Doch was passiert in der Gesundheitsversorgung, die vorrangig von Hörenden gestaltet wird? Wie findet die Arzt-Patienten-Kommunikation statt, wenn in der Regel ein gehörloser Patient auf einen hörenden Arzt trifft, der die Gebärdensprache nicht beherrscht?

Etwa 266.000 Personen gelten in Deutschland als gehörlos oder schwerhörig im Sinne des Neunten Sozialgesetzbuches mit einem Grad der Behinderung von mindestens 50 Prozent.¹ Schätzungsweise 80.000 Menschen sind von Geburt an gehörlos oder früh erblaubt.² Diese Gehörlosengemeinschaft verwendet die Deutsche Gebärdensprache, die seit 2002 per Gesetzgebung als selbständige Sprache in Deutschland amtlich anerkannt ist. Festgehalten ist dies im Behindertengleichstellungsgesetz.³

Um Kommunikationsbarrieren in der medizinischen Versorgung abzumildern, hat der Gesetzgeber vorgesehen, dass ein von der Krankenversicherung bezahlter Dolmetscher bestellt werden kann. Aber wie gut sind die Versorgung und die Zusammenarbeit mit den Dolmetschern? Und sind die vom Gesetzgeber vorgesehenen Hilfsmaßnahmen zur Ermöglichung gleicher Chancen im Gesundheitswesen allen Betroffenen bekannt? Welche Barrieren und Berührungspunkte liegen in der ärztlichen Versorgung von Gehörlosen in Deutschland vor? Und wie ist die gesundheitliche Situation der Gehörlosen in Deutschland? Viele Fragen ergeben sich, wenn man das Thema Gehörlosigkeit aus sozialmedizinischer Sichtweise betrachtet, Antworten darauf sind jedoch rar.

Daher hat das Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz in 2009 erstmalig eine sozialmedizinische Studie mit Gehörlosen in Deutschland durchgeführt. Diese aktuelle Untersuchung und besonders deren Methode sollen nachfolgend dargestellt werden, als Beispiel dafür, wie quantitative Forschung mit gehörlosen Personen gestaltet werden kann. Die Studiendurchführung wurde in drei Hauptarbeitsschritten unterteilt: Zunächst musste der Forschungsbedarf geklärt und spezifiziert werden, anschließend eine quantitative Erhebungsmethode

mit möglichst umfassender Barrierefreiheit für Gehörlose entwickelt werden und schließlich die Erfassung und Auswertung stattfinden. Die Datenerhebung konnte Ende März 2009 abgeschlossen werden, die Auswertung findet derzeit statt.

Klärung des Forschungsbedarfs

Das Gesamtprojekt wurde mit qualitativen Expertenbefragungen eingeleitet, die mithilfe eines halbstandardisierten Interviewleitfadens durchgeführt wurden. Die Experten wurden per Internetrecherche ermittelt; als Einschlusskriterien galten Gebärdensprachkompetenz, Berufserfahrung als Dolmetscher oder Berater und eine Arbeitsstelle im Großraum Mainz. Erfreulicherweise war unter den in Frage kommenden Interviewpartnern auch eine gehörlose Person, die als Experte in eigener Sache über die Situation der Gehörlosen berichten konnte. Insgesamt konnten fünf Interviews mit Mitarbeitern von vier Beratungsstellen vereinbart werden. Die Auswertung der Interviews ergab, dass es in der Praxis große Problemgebiete bei der Gesundheitsversorgung gehörloser Bürgerinnen und Bürger gibt. Vor allem die Verbreitung von Informationen über die gesundheitsbezogenen Leistungen für Gehörlose sowie die Kommunikation mit den in Heilberufen Tätigen wurden von den Experten wiederholt als defizitär beurteilt. Die Kommunikationsprobleme lägen dabei in so alltäglichen Bereichen wie der Terminvergabe, aber auch bedeutende inhaltliche Schwierigkeiten im Gespräch, die im schlimmsten Fall zu Fehldiagnosen führen könnten, träten auf. Weiterhin bedürfe die besondere Gesprächssituation, wenn neben Arzt und Patient noch eine dritte Person wie ein Dolmetscher oder ein Familienmitglied anwesend ist, der näheren Analyse. Überdies wurde auf fehlende psychotherapeutische Hilfen für Gehörlose hingewiesen.

Entwicklung einer quantitativen Erhebungsmethode

Literaturrecherche und Interviewauswertung haben ergeben, dass herkömmliche epidemiologische Studienmethoden – wie zum Beispiel schriftliche Befragungen – auf gehörlose Personen nur sehr begrenzt bis gar nicht angewendet werden können. Dies liegt vor allem in der Kommunikationsbarriere begründet: Viele gehörlose Personen haben Schwierigkeiten beim Lesen und Schreiben, denn Gebärdensprache lässt sich nur schwerlich aufschreiben und die deutsche Laut- und Schriftsprache hat für Gehörlose eher den

Charakter einer mitunter mühsam zu erlernenden Fremdsprache. Verständlich wird dies am Beispiel des seit Geburt Gehörlosen: Der Erwerb der Lautsprache auf die eher passive Art und Weise der Hörenden durch bloßes Zuhören ist ihm nicht möglich. Glücklicherweise ermöglicht ihm die Gebärdensprache dennoch eine gesunde psychosoziale Entwicklung, die jedoch bezüglich ihrer Struktur deutlich von der Lautsprache abweicht – schon allein deshalb, weil unterschiedliche Sinne angesprochen werden. Die Gebärdensprache erlernt der Gehörlose als seine „Muttersprache“ sehr schnell, die Lautsprache hingegen aufwendiger und nicht selten mit gravierenden Rückständen. Diese Situation kann bedingen, dass Gehörlose nicht gerne lesen und komplexe Texte nicht gut auflösen können. Der Rücklauf bei rein schriftlichen Fragebögen ist daher in der Regel unbefriedigend und sehr gering.

Eine deutschlandweite Befragung mithilfe von gebärdensprachkompetenten Interviewern wäre bezüglich der Organisation und der hohen Kosten nicht möglich gewesen. Daher musste ein Verfahren entwickelt werden, das eine quantitative Befragung an gehörlosen Bürgerinnen und Bürgern in Deutschland ohne Sprachbarriere ermöglicht und gleichzeitig kostengünstig ist. Als Lösung boten sich Gebärdensprachvideos an. Kombiniert mit dem Internet ließen sich die Videos entsprechend weit verbreiten und die Teilnehmer konnten ein Feedback geben, das automatisch in einer Datenbank gespeichert wurde. Aus der Überlegung, dass gerade Gehörlose mit Schwächen in der Schriftsprache auch diejenigen sind, die die größten Probleme bei der Inanspruchnahme von ärztlichen und gesundheitsbezogenen Leistungen haben, entstand der Anspruch, die quantitative Umfrage vollständig barrierefrei in Bezug auf die Kommunikation zu gestalten. Das heißt: Eine Teilnahme sollte auch dann möglich sein, wenn nur äußerst geringe Kenntnisse der Laut- und Schriftsprache vorlagen. Um alle Inhalte adäquat abfragen zu können, mussten spezielle, sehr visuelle Frage- und Antworttypen für die anvisierte Internetbefragung entwickelt werden, die in einer Voruntersuchung vorab getestet wurden.

Abb. 1: Der Aufbau einer Fragebogenseite aus der internetbasierten Umfrage für Gehörlose am Beispiel einer Ja/Nein-Frage.



© Autoren

Abb. 2: Die dreistufige Antwortskala erlaubt den Teilnehmern, Meinungen und Einstellungen anzugeben.



Alle Fragen haben gemeinsam, dass im oberen Teil des Bildschirms das Gebärdensprachvideo platziert wurde und im unteren Teil die dazugehörigen Antwortmöglichkeiten. Weil viele Betroffene im Rahmen der Voruntersuchung gebeten hatten, zur Vermeidung von Missverständnissen die Fragen auch in Schriftsprache aufzunehmen, war zwischen Video und Antwortmöglichkeiten die entsprechende Frage noch einmal in ausgeschriebener Form eingeblendet (Abb. 1, 2 und 3). Man beachte hierbei eine sprachliche Besonderheit: Die Teilnehmer wurden während der Umfrage konsequent geduzt. Das „Du“ ist dabei in der Voruntersuchung durch Gehörlose vorgeschlagen worden, denn das Siezen in der dritten Person Plural – unter Hörenden die gängige Höflichkeitsform – wird unter Gehörlosen leicht wörtlich genommen und kann so zu Missverständnissen führen. Es kann dann der Eindruck entstehen, dass nicht die direkt angesprochene Person Auskunft geben soll, sondern dass der Teilnehmer über andere Personen befragt wird.

Abb. 3: Die Gebärden-Buchstaben ermöglichen eine rasche Orientierung bei Antwortlisten (hier mit zwei Einträgen).



Fragen mit der dichotomen Antwortkategorie „Ja oder Nein“ bildeten den einfachsten Fragetyp. Die Antwortmöglichkeiten wurden gleichberechtigt nebeneinander angeordnet. Zur visuellen Unterstützung wurde jeweils ein Bild der Gebärde für „Ja“ oder „Nein“ mit aufgenommen (siehe Abb. 1). Zusätzlich wurden Fragen eingesetzt, die mithilfe einer Skala beantwortet werden sollten, um die bewertende Haltung der Teilnehmer zu einem Thema zu erfassen. Zur grafischen Umsetzung boten sich hier stilisierte Gesichter (Smileys) an, die zudem noch farblich gestaltet wurden (Abb. 2). Die Gesichter standen dabei für Aussagen über Zustimmung, Zufriedenheit

oder – je nach Kontext – auch für die Angaben „sehr gut“, „mittel“ und „sehr schlecht“. Statt der häufig in epidemiologischen Untersuchungen eingesetzten fünfstufigen Antwortskala wurde die Skala auf drei Ausprägungsgrade reduziert. Denn die Voruntersuchung ergab, dass die sprachlichen Schattierungen der fünfstufigen Skala von Gehörlosen eher nicht benutzt und auch nicht verstanden werden.

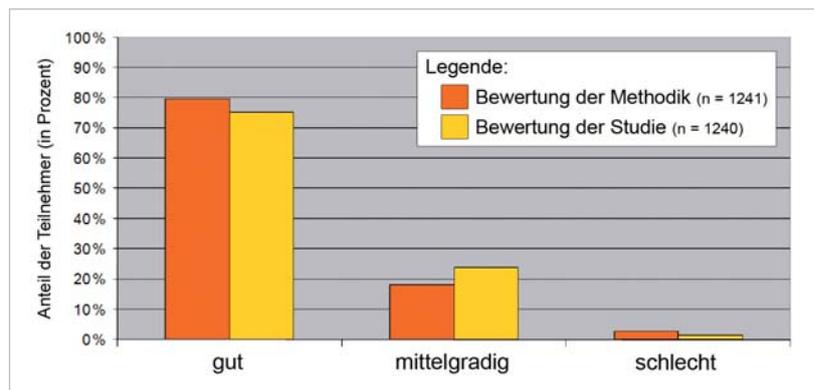
Die dritte Möglichkeit der Fragen-/Antwortmodalität war die der „Listen-Antwort“: Mehrere Antwortalternativen waren möglich, aus denen der Teilnehmer wählen konnte. Damit dieser Antworttyp ohne Schriftsprache auskam, wurden die verschiedenen Antworten im Video vollständig übersetzt und gebärdet. Dabei wurde jede Antwortmöglichkeit jeweils mit einem Buchstaben des „Fingeralphabets“ (Gebärdentalphabet) versehen. Je nach Anzahl der Antwortalternativen kamen dabei die Buchstaben von A bis H zum Einsatz. Kleine Bilder des jeweiligen Gebärdens-Buchstabens kennzeichneten dann den entsprechenden Eintrag in der Antwortenliste, so dass der Eintrag direkt ausgewählt werden konnte, falls die zusätzlich angebotenen Antworten in Schriftsprache nicht verstanden wurden (Abb. 3). Eine Sonderform der Listen-Antwort bestand dann, wenn mehrere Antworten gleichzeitig ausgewählt werden konnten.

Da nicht jede Frage mit einer standardisierten Antwortvorgabe aufgebaut werden konnte, wurden in der Umfrage auch sogenannte Textfeld-Fragen eingesetzt. Sie wurden dann benutzt, wenn die Antwort in Form einer Zahl gegeben werden musste (beispielsweise Alter, Größe oder Gewicht). Die Teilnehmer wurden gebeten, die entsprechende Zahl im Textfeld einzutragen. Insgesamt wurden 86 Fragen erstellt, wobei die tatsächliche Anzahl gestellter Fragen von den individuellen Antworten der Teilnehmer abhing und zwischen 60 und 85 Fragen lag. Diese Methode sowie die Inhalte der Befragung wurden durch den Landesdatenschutzbeauftragten von Rheinland-Pfalz begutachtet und konnten in die Feldphase überführt werden.

Erfassung und Auswertung

Die entwickelte Umfrage befand sich vom 1. 2. 2009 bis zum 31. 3. 2009 online. Beworben wurde sie über die gängigen Internetplattformen für Gehörlose, über einen Institutsbrief an diverse Selbsthilfeorganisationen und Gehörlosenverbände sowie über eine Pressemitteilung. Der Rücklauf entwickelte sich sehr positiv und lag über den angenommenen Erwartungen. Bereits nach einer Woche verzeichnete die eingerichtete Homepage über 2.500 Besucher. Auch gab es viele aufschlussreiche Email-Rückmeldungen von Gehörlosen bezüglich der Befragung sowie Kommentare zu individuellen Erfahrungen bei der Gesundheitsversorgung. Insgesamt haben 1.396 Personen den Fragebogen der dargestellten sozialmedizinischen Umfrage

vollständig durchlaufen. Die Analysen werden derzeit vom Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin durchgeführt. Erwartet werden neue Erkenntnisse, die zur Optimierung der Gesundheitsversorgung von Gehörlosen in Deutschland beitragen können. Um die Methodik der Umfrage bewerten zu können, wurden die Teilnehmer auch zu Qualität und Methodik der Studie befragt. Die Antworten (Antworttyp „Skala“) unterstützen die positive Meinung der vorab befragten Wissenschaftler zu dieser internetbasierten Befragungsstudie mittels Gebärdensprachvideos (Abb. 4).



Fazit

Auch für das wissenschaftliche Vorgehen gilt, Kommunikationsbarrieren abzubauen. So werden Defizite aufgedeckt und es kann ein Beitrag zur Chancengleichheit bei der Teilhabe am gesellschaftlichen Leben, insbesondere des Gesundheitsversorgungssystems, geleistet werden. Der Weg der internetbasierten Befragung mit Sprachvideos konnte erfolgreich bei gehörlosen Bürgerinnen und Bürgern in Deutschland eingesetzt werden. Für weitere Bevölkerungsgruppen mit möglichen Kommunikationsbarrieren, wie zum Beispiel nicht deutsch sprechenden Bürgerinnen und Bürgern, könnte diese Erhebungsmethode ebenfalls von Vorteil sein, zumal die Anonymität gewährleistet werden kann. Neben der Erhebung von einmaligen quantitativen Daten wurde mithilfe der Studie auch die Untersuchungstechnik der Online-Fragebögen mit Gebärdensprachvideos im sozialmedizinischen Bereich etabliert. Weiterhin hat die Untersuchung geholfen, in einen Dialog mit den Betroffenen zu treten und Kontakte mit Gehörlosen- und Dolmetschervereinen sowie mit deutschen und internationalen Expertengruppen zu knüpfen. Ein funktionierendes Netzwerk zwischen Forschung und Praxis wird es hoffentlich ermöglichen, die Situation für gehörlose Bürgerinnen und Bürger auf Basis der Studienergebnisse zu verbessern.

An dieser Stelle sei allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern für die Beantwortung des Fragebogens recht herzlich gedankt. Ein besonderer Dank gilt Liona Paulus, die die Fragen für die Videoaufnahmen übersetzt und gebärdet hat.

Abb. 4: Subjektive Bewertung der Gehörlosenstudie und ihrer Methodik durch die Teilnehmer.

■ **Summary**

The Institute of Occupational, Social and Environmental Medicine of the University Medical Center in Mainz performed a first-time Germany-wide survey regarding public health issues in deaf people. To properly approach the deaf community an internet based questionnaire containing sign-language videos was developed. Questions were about deaf-specific problems, e.g. interpreter services. The positive response as well as the good ratings from the participants showed that this is a promising way to reach deaf people. The results are currently analyzed and will be published in the near future.

Literatur

1. Statistisches Bundesamt, Statistik der schwerbehinderten Menschen 2007, 1. Januar 2009.
2. Deutscher Gehörlosen Bund, URL: <http://www.gehoerlosenbund.de/faq/faq.htm>, zuletzt aktualisiert am 08.05.2009.
3. Behindertengleichstellungsgesetz vom 27. April 2002 (BGBl. I S. 1467, 1468), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 19. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3024).

■ **Kontakt**

Prof. Dr. Eva Münster
 Juniorprofessorin für Sozialmedizin / Public Health
 Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin
 Universitätsmedizin der Johannes
 Gutenberg-Universität Mainz
 Obere Zahlbacher Str. 67
 D-55131 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-3930278
 Fax +49 (0) 6131-3936680
 Email: eva.muenster@uni-mainz.de
<http://www.uni-mainz.de/FB/Medizin/asu/>

Privat



Prof. Dr. Eva Münster

Eva Münster erwarb Hochschulabschlüsse in Ökotrophologie (Universität Bonn) und Public Health (LMU München). 2004 Promotion (TU München). Seit 2005 Juniorprofessorin für Sozialmedizin/Public Health am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz. Der Forschungsfokus liegt auf besonders belasteten und teilweise tabuisierten Bevölkerungsgruppen, deren Gesundheitszustand und deren medizinischer Versorgungssituation. Sie leitet den Interdisziplinären Arbeitskreis „Armut und Schulden“ der Universität Mainz und ist Autorin der Expertise „Überschuldung, Gesundheit, soziale Netzwerke“ für den 3. Armuts- und Reichtumsbericht der Bundesregierung.

Privat



Dr. rer. soc. Luis Carlos Escobar Pinzón

Luis Carlos Escobar Pinzón, geboren 1967 in Manizales (Kolumbien), studierte Psychologie in Bogotá (Kolumbien). 1994 kam er als Koordinator des EURO-VIHTA-Projekts an das Psychologische Institut der Universität Mainz. Er promovierte 2000 an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen. Von 2002 bis 2005 hatte er die Leitung der Arbeitsgruppe Psychophysiologie des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin an der Universität Mainz inne. In den Jahren 2006 bis 2008 war er als Bundesgeschäftsführer der Deutschen AIDS-Hilfe e.V. in Berlin tätig. Seit April 2009 ist er zurück am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz und leitet die Arbeitsgruppe Sozialmedizin/Public Health.

Privat



cand. med. Johannes Höcker

Johannes Höcker, geboren 1985 in Clausthal-Zellerfeld, studiert Medizin an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz. Nach dem ersten Abschnitt der ärztlichen Prüfung im Wintersemester 2006 ist er seit November 2007 als Doktorand in der Arbeitsgruppe von Prof. Eva Münster tätig. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Gesundheitsversorgung von gehörlosen Menschen.

Silbensprachen versus Wortsprachen

Von Renata Szczepaniak

Silbensprachen wie etwa das Spanische oder das Schweizerdeutsche sind leicht aussprechbar, aber Wortsprachen wie das Standarddeutsche sind in der Regel besser zu verstehen. Erstaunlicherweise war auch das Deutsche einst eine Silbensprache. Am Deutschen Institut wird das Potential dieser noch relativ jungen phonologischen Sprachtypologie erforscht. Die zentrale Frage ist, wie und warum sich Sprachen wandeln.

Auf typologische Unterschiede stoßen wir schon in unserem täglichen Umgang mit dem Deutschen. So beachten wir in der Standardaussprache von Wörtern wie *Verein* oder *überall* die morphologische Struktur (*Ver+ein*, *über+all*). Hier fallen die Silben- mit den Morphemgrenzen zusammen: *Ver.ein* und *ü.be.rall*. Punkte markieren dabei die Silbengrenzen. Doch viele von uns kennen auch die regionalen, süddeutschen Varianten *Ve.rein* und *ü.be.rall*. Hierbei werden die Wörter ungeachtet der Morphemgrenzen in Silben zerteilt. Diese beiden Aussprachemöglichkeiten sind Ausdruck unterschiedlicher typologischer Ausprägungen. Wird – wie in der Standardsprache – die Morphemstruktur exponiert, spricht man von Wortsprachen. Wird die Lautkette jedoch „blindlings“ in Silben zergliedert – wie in der süddeutschen Aussprache –, dann haben wir es mit einer Silbensprache zu tun.

An unserem Institut wird diese noch relativ junge Silben-/Wortsprachen-Typologie weiterentwickelt.¹ Bislang konnten wir zeigen, dass sich mit diesem typologischen Ansatz Prinzipien aufdecken lassen, die den Sprachwandel steuern. Dieser Typologie liegt das Bedürfnis des Sprechers nach leichter Aussprechbarkeit und des Hörers nach leichter Dekodierbarkeit zugrunde.² Am Beispiel des Deutschen haben wir nachgewiesen, dass die typologische Umorientierung morphologische Konsequenzen nach sich ziehen kann, zum Beispiel die derzeitige Durchsetzung der jüngeren, kurzen Genitivendung *-s* gegenüber der älteren, langen Endung *-es* (vgl. *des Werkes/Werks*). Auch die zunehmende Verwendung sogenannter Fugenelemente wie *-s* in *Veranstaltung-s-kalender* gehört in diesen Zusammenhang. Unsere kontrastiven Arbeiten decken tiefgreifende typologische Unterschiede zwischen eng verwandten Sprachen und Dialekten auf.

Sprecherfreundliche Silbensprache versus hörerefreundliche Wortsprache

Silben- und Wortsprachen repräsentieren die beiden typologischen Pole auf einer langen Skala. Beide Typen kumulieren jeweils spezifische phonologische Eigenschaften, die sich von den konkurrierenden Sprecher- und Hörerinteressen ableiten. In einer sprecherfreundlichen Silbensprache, wie etwa dem Spanischen, werden leicht aussprechbare und gleich geformte Silben bevorzugt, zum Beispiel: *a las ocho* [a.la.so.tʃo] „um acht Uhr“. Die Wörter und Wortfolgen bestehen meist aus dem Wechsel von Konsonant (K) und Vokal (V) wie in *a.la.so.cho* VKVKVKV. Dies garantiert zwar eine leichte Aussprache, erschwert aber die Erkennung der Wort- und Morphemgrenzen. Darauf basieren im Spanischen viele Wortspiele, etwa [so.lo.ʎe.βe] *sol o llueve* „Sonne oder es regnet“ oder *solo llueve* „es regnet nur“.

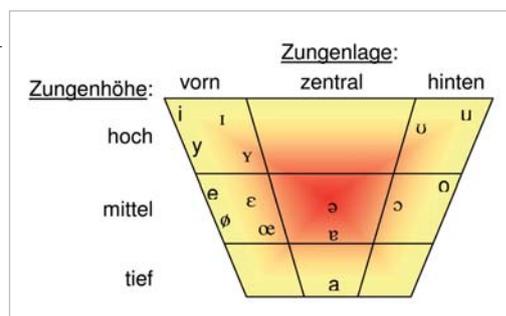


Abb. 1: Vokale des Deutschen (mit Berücksichtigung der Zungenlage und -höhe).

Eine hörerefreundliche Wortsprache profiliert hingegen das Wort und fördert so die Dekodierung der morphologischen Strukturen, das heißt der Informationseinheiten. Im Deutschen werden Worteinheiten wie *lachte* oder *Kinder* unter anderem durch die wortbezogene Verteilung der Vokale hervorgehoben. So enthalten nur betonte Silben einen Vollvokal wie *a* oder *i*. In unbetonten Folgesilben, oft Trägern grammatischer Informationen, kommen hingegen Reduktionsvokale vor, die einem schwachen Murrellaut ähneln (Abb. 1). Dies sind [ə], zum Beispiel in der Präteritalendung (*lach-t[ə]*), und [ɐ], zum Beispiel in der Pluralendung (*Kin.d[ɐ]*). Eine solche wortbezogene Vokaldistribution signalisiert dem Hörer also nicht nur die Worteinheit als solche, sondern auch die morphologische (Informations-)Struktur. Ein Nachteil ist, dass Wortsprachen komplexe, schwer aussprechbare Silben, wie dt. *Strumpf* oder (*des*) *Herbsts*, fordern.

Typologische Parameter

Konkret sind es die folgenden drei Parameter, die zur Analyse des synchronen Sprachzustands oder von diachronen Veränderungen herangezogen werden:³

1. Die Silbenstruktur:

Sie ist in Silbensprachen einfach und weist immer einen monotonen Sonoritätsverlauf auf (Abb. 2). Im Spanischen überwiegt die (universell optimale) KV-Silbe (zirka 60 Prozent aller möglichen Silbentypen), 20 Prozent machen KVK-Silben aus, zum Beispiel *pan* „Brot“. Silbentypen mit zwei schließenden Konsonanten KVKK sind mit weniger als einem Prozent äußerst selten. Dadurch bestehen häufig ganze Sätze aus gleich geformten Silben: KVKV, zum Beispiel *dí.me.lo rá.pi.do* „sag es mir schnell“. In Wortsprachen dagegen ist die Silbenstruktur sehr variabel; oft ist sogar der Sonoritätsverlauf verzerrt wie in *gibst* (Abb. 3). Im Deutschen wird durch die Komplexität des Silbenendrands das Wortende hervorgehoben – auf Kosten der Aussprechbarkeit, beispielsweise in *gibst, Strumpf, Herbst*. Das Wortende kann bis zu fünf Konsonanten enthalten: *He*[ʀpsts].

Abb. 2: Der Sonoritätsverlauf innerhalb der Silbe.

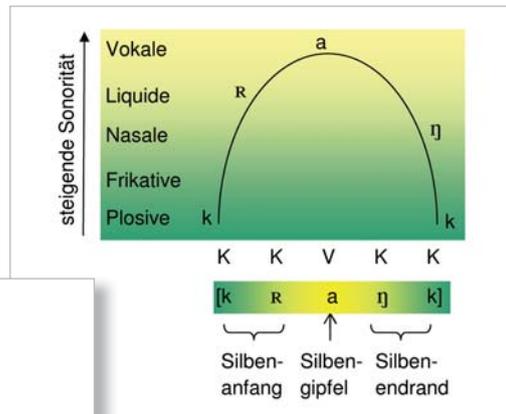
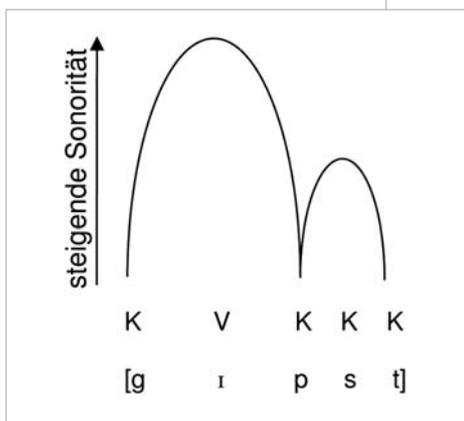


Abb. 3: Die extrasilbischen Konsonanten *st* in *gibst* [gɪpst].



2. Die Distribution der Vokale und Konsonanten:

In Wortsprachen dient sie dazu, das Wort zu profilieren. Im Deutschen markieren Vollvokale die sogenannte Stammsilbe, wie *lach* in *lachte*, die die lexikalische Information enthält, und heben diese von Reduktionssilben wie *te* ab, die meist grammatische Informationen transportieren. In Silbensprachen treten die gleichen Vokale sowohl in betonten als auch in unbetonten Silben auf, zum Beispiel *ocho* „acht“, *leche* „Milch“ oder *ala* „Flügel“. Dies garantiert eine gleichmäßige Energieverteilung bei der Sprachproduktion. Wortsprachen hingegen kumulieren die artikulatorische Energie auf der betonten Silbe, vergleiche dazu span. *sopa* mit dt. *Suppe*. In Wortsprachen unterliegen auch Konsonanten wortbezogenen Distributionsbeschränkungen. Im Deutschen treten beispielsweise behauchte Konsonanten nur am Wortanfang auf, etwa [tʰ] in [tʰan.tə] „Tante“. Ähnlich ist der Laut [h] nur am Wortanfang erlaubt, vergleiche [h]aus oder [h]ase (Wortanfang) im Gegensatz zu *sehen* [ze:ən] (Wortmitte) und *sah* [za:] (Wortende). In Silbensprachen sind die Konsonanten nicht wortbezogen distribuiert. Beschränkungen gibt es lediglich hinsichtlich der Position innerhalb der Silbe. So wird im Spanischen eine konsonantisch geschlossene Silbe vermieden. Dies führt auch zur Tilgung von Plosiven, etwa in *sep.tiem.bre* > *se.tiem.bre* „September“.

3. Die Domäne phonologischer (und phonetischer) Prozesse:

Phonologische Prozesse verbessern in Silbensprachen die Silbenstruktur, während sie in Wortsprachen das Wort hervorheben. Im Spanischen ist die silbensprachliche Tendenz dafür verantwortlich, dass die Silbenstruktur auch über Wortgrenzen hinweg optimiert wird (sogenannte Resilbifizierung), zum Beispiel bei *cenamos a las ocho* „wir essen um acht Uhr“ [θe.na.mo.sa.la.so.tʃo]. Die Resilbifizierung findet auf Kosten der Erkennbarkeit von Wort- und Morphemgrenzen statt. Im Deutschen werden Wortgrenzen dagegen sehr stabil gehalten, das heißt Resilbifizierungen kommen nicht vor. Zusätzlich wird der Anfang einer vokalisch anlautenden Silbe wie in *acht* oder *Uhr* mit dem sogenannten Glottisverschluss [ʔ] gestärkt: *wir*.[ʔ]es.sen.[ʔ]um.[ʔ]acht.[ʔ]Uhr.

	Spanisch	Deutsch
Wort-/Morphemstruktur	<i>cenamos a las ocho</i>	<i>wir essen um acht Uhr</i>
Silbenstruktur	[θe.na.mo.sa.la.so. tʃo]	[vi:v.ʔeʃŋ.ʔum.ʔaxt.ʔu:v]
Resilbifizierung	vorhanden	nicht vorhanden
Wortgrenzen	nicht erkennbar	erkennbar

In Silbensprachen treten Aussprache erleichternde Assimilationen sowohl im Wortinneren (sogenannter Wortsandhi) als auch an Wortgrenzen auf (sogenannter Satzsandhi): Im Spanischen wird *n* vor *g* durchgehend velarisiert, zum Beispiel *ven.ga* [beŋ.ga] (Wortsandhi) und *con ganas* [koŋ.ga.nas] (Satzsandhi). Im Deutschen ist eine ähnliche Assimilation im Wortinneren zu finden, etwa bei *Anker* [aŋ.kɐ]. An Wortgrenzen wird sie blockiert, wodurch diese gut erkennbar bleiben, zum Beispiel bei *Kopf an Kopf* [kɔp.f.ʔan.kɔp.f].

Typologischer Wandel des Deutschen von einer Silben- zu einer Wortsprache

Das Deutsche hat in seiner 1.500-jährigen Geschichte eine typologische Drift vom silben- zum wortsprachlichen Pol vollzogen.⁴ Die Analyse der diachronen Prozesse zeigt den allmählichen Abbau silbensprachlicher Charakteristika, die noch im Althochdeutschen (zirka 500 bis 1050 n.Chr.) zu finden waren. Beispiele dafür sind unter anderem einfache Silbenstrukturen, Vollvokale in betonten und unbetonten Silben sowie Aussprache erleichternde Vokaleinschübe: ahd. *perg* > *pereg* „Berg“ oder *wurm* > *wurum* „Wurm“ (Abb. 4). Im Mittelhochdeutschen (zirka 1050 bis 1350) begann der typologische Umbruch. In dieser Zeit wurden die unbetonten Vollvokale reduziert, zum Beispiel ahd. *sunna* > mhd. *sunne* „Sonne“. Anschließend fanden Vokaltilgungen statt, durch die mehrsilbige Wörter zu Zweisilbern reduziert wurden, wie etwa bei mhd. *epfele* > nhd. *Äpfel*. Der Trochäus hat sich zum prototypischen Akzentmuster entwickelt. Im Frühneuhochdeutschen entstanden massenweise sogenannte extrasilbische Konsonanten, beispielsweise *st* in *gibst* (Abb. 3). Sie trugen zur Vermehrung von komplexen, schwer aussprechbaren Konsonantenclustern bei, die das Wortende markieren. Der rechte Wortrand wurde zusätzlich durch Konsonanteneinschübe gestärkt: mhd. *mâne* > (f)nhd. *Mond* (vgl. engl. *moon*). Das Neuhochdeutsche baut die Wortsprachlichkeit weiter aus, unter anderem durch Vokaltilgung, zum Beispiel *o.ben* > *o.b[m]*. Auf diese Weise entstehen sogenannte silbische Konsonanten wie [m] in *o.b[m]*. Silbische Konsonanten sind im Deutschen auf unbetonte Silben beschränkt und haben dort die Funktion des Silbengipfels inne; diese Funktion wird im Optimalfall von Vokalen ausgeübt. Auch bei Fremdwörtern machen sich wortsprachliche Entwicklungen bemerkbar, darunter die Schwächung der unbetonten Vokale wie in *Asp[ə]rin*.

Germanische Sprachen – typologisch

Abweichend vom Standarddeutschen haben sich das Schweizerdeutsche sowie insbesondere das am Südrand der Germania gelegene Walserdeutsche entwickelt.⁷ Unsere diachrone Analyse zeigt, dass beide Varietäten die alte Silbensprachlichkeit stärker konserviert haben als das Standarddeutsche. Das

Althochdeutscher Text:	Neuhochdeutsche Übersetzung:
<p>De poeta. Dat <i>gafregin</i> ih mit <i>firahim</i> <i>firiuiuizzo</i> meista Dat <i>ero</i> ni <i>uuas</i> noh <i>uffhimil</i> noh <i>paum</i> noh <i>pereg</i> ni <i>uuas</i> ni <i>nohheinig</i> noh <i>sunna</i> ni <i>scein</i> noh <i>mano</i> ni <i>liuhta</i> noh <i>der mareo</i> seo Do dar <i>niuuiht</i> ni <i>uuas</i> enteo ni <i>uunteo enti</i> do <i>uuas</i> der <i>eino</i> <i>almahtico</i> cot <i>manno</i> <i>miltisto</i> <i>enti</i> dar <i>uuarun</i> auh <i>manake</i> mit inan <i>cootlihhe</i> geista <i>enti</i> cot heilac</p>	<p>Von einem Dichter Das habe ich bei den Menschen als größtes Wunder erfahren: dass es die Erde nicht gab und nicht den Himmel, es gab nicht den Baum und auch nicht den Berg, es schien nicht ein einziger Stern, nicht die Sonne, es leuchtete weder der Mond noch die glänzende See. Als es da also nichts gab, was man als Anfang oder als Ende hätte verstehen können, gab es schon lange den einen allmächtigen Gott, den reichsten an Gnade. Da waren auch viele Geister voll Herrlichkeit und der heilige Gott.</p>

© Renata Szczepaniak

Schweizerdeutsche hat den schon im Althochdeutschen bekannten Satzsandhi (das sogenannte Notkersche Anlautgesetz) sogar ausgebaut. Eine seiner auffälligsten Eigenschaften besteht in wortübergreifenden Konsonantenassimilationen wie in *nit furt* > *ni.pfurt* „nicht fort“, *zahnfleisch* „Zahnfleisch“ und *ärpebe* „Erdbeben“. Das Walserdeutsche hat wiederum die schon im Althochdeutschen vorkommende (silbensprachliche) Vokalharmonie weiter ausgebaut. So passt sich der Mittelvokal *e* qualitativ an den Folgevokal an, daher *schuulera* > *schuulara* „Schüler“ (Nominativ Plural) und *schuuleru* > *schuuluru* (Genitiv Plural). Es ist zu vermuten, dass die Silbensprachlichkeit des Schweizer- einschließlich des Walserdeutschen durch den intensiven Sprachkontakt mit den (silbensprachlichen) romanischen Nachbarsprachen gefördert wurde. So weist auch das an der Grenze zur Romania gelegene Luxemburgische wortsprachliche Parallelen zum Deutschen auf, darunter Reduktionsvokale in unbetonten Silben, zum Beispiel *spuer[ə]n* „sparen“, kultiviert aber gleichzeitig (wie das Französische) phrasenbezogene Prozesse, darunter Resilbifizierungen wie in *en Auto* „ein Auto“ [ə.naʊ.to].

Wechselwirkungen zwischen Phonologie und Morphologie

Die zunehmende Relevanz des phonologischen Wortes im Deutschen hat sich auf die Morphologie ausgewirkt.^{8,9} Im Frühneuhochdeutschen, das eine intensive Stärkung der Wortsprachlichkeit erfuhr, entstanden sogenannte Fugenelemente wie in *Alter-s-gruppe*, *Bär-en-dienst*. Dies sind umfunktionalisierte Flexionsreste in univerbierten Genitivphrasen: *des Teufels Sohn* > *der Teufel-s-sohn*. Dass sie nicht abgebaut, sondern ganz im Gegenteil produktiv geworden sind, ist auf ihre prosodische Funktion zurückzuführen. Die silbischen Fugenelemente garantieren eine optimale (trochäische) Wortform (wie in *Bär-en-*); das produktive Fugen-s vergrößert den wortfinalen Konsonantencluster, verstärkt so den rechten Wortrand des ersten Kompositionsglieds und verdeutlicht die morphologische Komplexität des gesamten Wortes, beispielsweise *Alter-s-gruppe*. Dies erleichtert die Dekodierung von Komposita.

Abb. 4: Fragment des althochdeutschen „Wessobrunner Gebets“ (fr. 9. Jh.) in diplomatischer Transkription von Braune/Ebbinghaus⁵ (S. 85f.) mit neuhochdeutscher Übersetzung von Schlosser⁶ (S. 48f.).

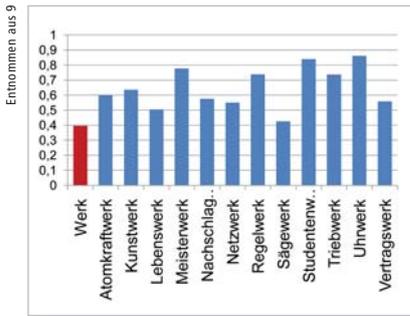


Abb. 5: Relative Frequenz des kurzen s-Genitivs und die Wortgröße.

Die typologischen Umwälzungen sind letztlich auch für den bis heute nicht abgeschlossenen Abbau der langen Genitivendung -es verantwortlich (vgl. *des Werkes/Werks*). Der kurze s-Genitiv setzt sich zunehmend auf Kosten des langen es-Genitivs durch. Gesteuert wird diese Entwicklung durch die in Wortsprachen stark reglementierte Wortgröße. Unsere groß angelegte Analyse schriftlicher Korpora (Cosmas II), die das Mannheimer Institut für Deutsche Sprache (IDS) bereitstellt (www.ids-mannheim.de), hat gezeigt, dass umfangreiche Wörter, darunter Komposita wie *Kunstwerk*, *Triebwerk* usw., stärker zum kurzen s-Genitiv tendieren als Einsilber wie *Werk* (Abb. 5).

Um diese noch sehr junge Typologie weiterzuentwickeln, richte ich im März 2010 in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Peter Auer an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg den internationalen Workshop „Phonological typology of syllable and word languages in theory and practice“ aus. Die Finanzierung dieses Workshops übernimmt dankenswerterweise die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Dort sollen erstmals die neuesten Erkenntnisse und Ergebnisse der stark international ausgerichteten Forschung zusammengeführt werden.

■ **Summary**

The recently developed phonological typology of syllable and word languages reflects the opposing interests of the two communication participants – listener and speaker. In a syllable language, the ease of articulation is of high importance, while in a word language the facilitation of decoding is of highest priority. In our Department of Historical Linguistics, we carry out contrastive and diachronic research in order to refine the typology, applying it on related and unrelated languages, and to identify the phonology-morphology interaction. This typology can be used in foreign language education.



Peter Pulikowski

Prof. Dr. Renata Szczepaniak

Renata Szczepaniak studierte Germanistik und Slavistik in Poznań und Mainz. Die Promotion zum phonologisch-typologischen Wandel des Deutschen schloss sie 2005 in Mainz mit „summa cum laude“ ab. Im Jahr 2006 war sie als Wissenschaftliche Angestellte im Projekt „Grammatik des Deutschen im europäischen Vergleich“ am Institut für Deutsche Sprache (IDS) in Mannheim tätig. Im Herbst 2006 übernahm sie die Juniorprofessur für Historische Sprachwissenschaft des Deutschen in Mainz. 2007 erhielt sie den Promotionspreis der Johannes Gutenberg-Universität. Sie ist Mitautorin des 2006 im Narr-Verlag erschienenen Lehrwerks „Historische Sprachwissenschaft des Deutschen. Eine Einführung in die Prinzipien des Sprachwandels“. Ihre Publikationen und Vorträge behandeln verschiedene Aspekte der diachronen Entwicklung des Deutschen, darunter Phonologie und Grammatikalisierung.

■ **Kontakt**

Prof. Dr. Renata Szczepaniak
 Juniorprofessorin für Historische Sprachwissenschaft
 Deutsches Institut
 Jakob-Welder-Weg 18
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 25 513
 Fax +49 (0) 6131-39 23 366
 Email: rszczepa@uni-mainz.de

Literatur

1. Auer P. Is a Rhythm-Based Typology Possible? A Study of the Role of Prosody in Phonological Typology. Univ. Konstanz. 1993.
2. Szczepaniak R. Wortsprachliches Deutsch und silbensprachliches Spanisch. Ein phonologisch-typologischer Vergleich. In: Estudios filológicos alemanes. Im Druck.
3. Auer P. Silben- und akzentzählende Sprachen. In: Haspelmath M et al. (Hrg.). Sprachtypologie und sprachliche Universalien. Ein internationales Handbuch. Bd. 2.2. Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft 2001; 20: 1391-1399. Berlin, New York, de Gruyter.
4. Szczepaniak R. Der phonologisch-typologische Wandel des Deutschen von einer Silben- zu einer Wortsprache. Studia Linguistica Germanica 2007; 85. Berlin, New York, de Gruyter.
5. Braune W & Ebbinghaus EA. Althochdeutsches Lesebuch. Tübingen, Niemeyer. 1994.
6. Schlosser HD (Hrg.). Althochdeutsche Literatur. Mit altniederdeutschen Textbeispielen. Auswahl mit Übertragungen und Kommentar. Berlin, Erich Schmidt. 2004.
7. Nübling D & Schrambke R. Silben- vs. akzentzählende Züge in germanischen Sprachen R. und im Alemannischen. In: Glaser E et al. (Hrg.). Alemannisch im Sprachvergleich. Zeitschrift für Dialektologie und Linguistik 2004; Beiheft 129: 281-320. Stuttgart, Franz Steiner.
8. Nübling D & Szczepaniak R. On the Way from Morphology to Phonology. German Linking Elements and the Role of the Phonological Word. In: Morphology 2008; 18: 1-25.
9. Szczepaniak R. Während des Flug(e)s/des Ausflug(e)s: The Short and Long Genitive Endings in German between Norm and Variation. In: Lenz A & Plewnia A (Hrg.). Grammar between Norm and Variation. Studies in Linguistic Variation. Im Druck. Amsterdam, John Benjamins.

Britischer Film im Kontext von Kultur- und Medientransfer

Von Klaus Peter Müller

Der britische Film gilt als Teil des nationalen Kulturguts. Er wird in Institutionen wie dem British Film Institute (BFI) gepflegt, das 2007 seine ‚Strategy for UK Screen Heritage‘ vorgelegt hat.¹ Durch diese vom Staat mit 25 Millionen Pfund geförderte Kampagne soll der britische Film in allen Medien archiviert und präsentiert werden. Aber kann der britische Film überhaupt als Einheit betrachtet werden? Eine interdisziplinär besetzte Tagung in Gernersheim widmet sich der Thematik im Detail.

Die in den 1980er Jahren von der konservativen Regierung Thatcher forcierte Pflege des nationalen Kulturerbes hat ihren parteipolitischen Charakter verloren, aber die nationale Komponente bewahrt. Entsprechend betont das BFI: „We want the Strategy to be truly national.“ Die Strategie ist damit untrennbar mit der Frage nach der kulturellen Identität Großbritanniens verbunden, die seit zwei Jahrzehnten verstärkt diskutiert wird. Stichworte sind hier unter anderem ‚Verlust des Empire‘, ‚devolution‘, ‚Ethnien in GB‘ und ‚EU‘. Großbritannien ist ja gar keine Nation, sondern ein Staat, bestehend aus den Nationen England, Schottland und Wales. Ist also das Insistieren auf einem nationalen britischen Film ein politisches Rückzugsgefecht? Welches kulturelle Selbstverständnis zeigen denn britische Filme heute? Ein globales, europäisches, nationales, regionales, ethnisches, gruppenspezifisches oder ein individuelles? Inwiefern werden kulturelle Aspekte überhaupt im Film reflektiert und wie eignet er sich für deren Darstellung? Gibt es besondere Probleme beim Transfer in eine andere Sprache und Kultur? Wie verändern sich Kulturspezifika sowie deren Darstellung und Wahrnehmung, wenn sie in verschiedenen Medien, etwa in Romanen und Filmen, aber auch in Übersetzungen, präsentiert werden, und wie beeinflusst die aktuelle Medienkonvergenz das Verstehen kultureller Differenzierungen?

Diesen Fragen widmet sich eine internationale Tagung, die im Februar 2010 am Fachbereich 06 von der Anglistik durchgeführt wird und zu der Personen aus der Film-, Fernseh-, Medien-, Sozial-, Kommunikations-, Politik-, Literatur-, Kultur- und Translationswissenschaft, Anthropologie, Soziologie, Geographie, Kunstgeschichte sowie von Medienkunst und Design eingeladen wurden. Durch die Konferenz soll die für eine Beschreibung des Mediums Film notwendige interdisziplinäre Zusammenarbeit gestärkt werden. Außerdem werden Untersuchungen vorgestellt, die

zeigen, wie neuere kognitionswissenschaftliche Erkenntnisse bei der Filmanalyse und -rezeption gewinnbringend eingesetzt werden können.

Anhand von vier Teilnehmer/innen lässt sich zeigen, wie laufende Diskussionen aufgegriffen und weitergeführt werden: Andrew Higson, Greg-Dyke-Professor für Film- und Fernsehwissenschaft an der Universität York, lehnt den Begriff ‚britischer Film‘ ab, während John Hill, Professor für Medienwissenschaft am Royal Holloway College der Universität London, ihn behalten will und für nützlich erklärt. Beide werden über die Weiterentwicklung ihrer Gedanken zu diesem Thema und zum britischen Film im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts sprechen. John Caughie, Professor für Film- und Fernsehwissenschaft an der Universität Glasgow, wird sich demgegenüber zum schottischen Film äußern, während Charlotte Brunsdon, Professorin für Film- und Fernsehwissenschaft der Universität Warwick, die nationale Kategorie durch eine regionale bzw. städtische ersetzt. Sie untersucht, wie Film die Raumvorstellungen, speziell der Weltstadt London, präsentiert und verändert. So werden traditionelle Kategorien aufgegriffen und transformiert, es zeigt sich das Verhältnis des Mediums Film zur Kultur bzw. zur gelebten Realität der Zuschauer/innen und zu der im Film dargestellten Welt, und es wird erkennbar, wie in und mit Medien Grenzen vielfältigster Art, speziell die der Kulturen und Medien selbst, überschritten, erweitert oder überflüssig gemacht werden. Dadurch ändern sich auch Beschreibungs- und Wahrnehmungskategorien für die Medien und eventuell sogar für die erlebten Realitäten.²

‚*This Is England*‘ (2007) erhebt schon im Titel den Anspruch, ein Bild von England zu zeigen. Allerdings ist es eine Darstellung des Jahres 1983 aus der Sicht des 21. Jahrhunderts mit autobiographischen Elementen aus dem Leben des Regisseurs Shane Meadows (geb. 1972). Ebenso wie die Hauptfigur, der zwölfjährige Shaun, wuchs Meadows in Mittelengland unter Skinheads auf. Der Film präsentiert die soziale und politische Situation Jugendlicher nach dem Falklandkrieg und stellt Phänomene der Zeit heraus (Zerfall der Innenstädte, Rechtsradikalismus, Immigration), die geschickt mit dem persönlichen Erleben Shauns verbunden werden. Dies ist eine Moment- und



This Is England
(Shane Meadows 2007).

Zeitaufnahme Englands – weshalb der Titel notwendigerweise hyperbolisch bleibt – die aber so zutreffend und relevant ist, dass der Film beim Londoner Filmtreffen 2007 als ‚Best Independent Film‘ ausgezeichnet wurde.

Gleichzeitig sind die Jugendkultur, die sich mit ihr verbindende Musik und die sozialen wie politischen Probleme alles andere als regional- oder nationalspezifisch. Hier werden am Beispiel von England im Jahr 1983 europäische Probleme gezeigt, die im Jahr der Film Premiere immer noch relevant waren. Reduziert sich also das Britische auf Lokalität und Sprache? Die deutsche Synchronisation wird heftig getadelt. Was ist schief gelaufen, wenn geklagt wird, dass die Dialoge im Deutschen flach, an den Haaren herbeigezogen und sinnlos wirken, im Original dagegen authentisch und überzeugend?³ Solche Fragen werden im Fachbereich 06 aus der translationswissenschaftlichen Perspektive behandelt und auf der Tagung sowohl wissenschaftlich als auch praktisch beurteilt. Ein bis zwei Leiter/innen von Synchronstudios werden zusammen mit Verena Blümner, die eine mehr als 20-jährige Berufserfahrung als Übersetzerin und mit Filmsynchronisationen besitzt, derartige Probleme kultureller Grenzüberschreitungen thematisieren.

meinsamen Kulturgutes zu belegen. Dieses Ziel wurde laut Zuschauerreaktionen erreicht. Die Bedeutung des Fernsehens für die Förderung des britischen Films hat seit 1982 enorm zugenommen und wird im Rahmen dieses Projekts für die BBC und für Film 4 näher untersucht.

‚Hallam Foe‘ (2007) wurde von Film 4, Ingenious Film Partners sowie Scottish Screen und Glasgow Film Finance Ltd. produziert und wird auch wegen der Regie des Schotten David Mackenzie (geb. 1966) als Beispiel für den gegenwärtigen schottischen Film gesehen. Erzählt wird die Geschichte des 17-jährigen Hallam, seine Suche nach Wahrheit über den Tod der Mutter und seine Identität. Der Film spielt im schottischen Hochland und in Edinburgh. Historisch geschulte Betrachter werden durch die Lokalitäten, Figuren sowie durch die Thematik des Erwachsenwerdens und des Ablegens einer einseitigen Weltsicht an die bei Walter Scott am eindringlichsten dargestellte Entwicklung Schottlands von einer Clan-Gesellschaft zu einer modernen Nation erinnert. Die im 18. Jahrhundert entstandene schottische Aufklärungsgeschichte beschrieb den gesellschaftlichen Verlauf vom Naturzustand des Menschen zu dessen Organisation in fortschrittlichen Ländern und stützte die 1707 beschlossene, aber ständig umstrittene Verbindung des schottischen Parlaments mit dem englischen und walisischen in Westminster. Scotts Romane ab 1814 förderten diese Bindung an England und sahen eine Abkehr von der patriarchalisch organisierten Gesellschaft der schottischen Hochländer zu einer rationalistisch und auf parlamentarisch geprägter Legalität beruhenden Form als notwendig an, um Schottland erfolgreich weiterzuentwickeln. ‚Hallam Foe‘ könnte daher ähnlich gedeutet werden, nämlich als Darstellung der sich seit zwei Jahrzehnten stark in der Entwicklung befindlichen Befreiung und Verselbständigung Schottlands aus der Bindung an Großbritannien. Allerdings passt das wenig zu den Marktgesetzen, die Film generell dominieren und die der deutsche Titel sofort zum Ausdruck bringt: ‚Hallam Foe – Anständig durchgeknallt‘ wird für Personen im Alter des Protagonisten präsentiert. Alle schottischen Bezüge sind sekundär zugunsten des Hauptthemas „Jugendliche“, verbunden mit Problemen des Heranwachsendens, Entdeckens von Sexualität und der Suche nach persönlicher Identität.



Summer of British Film 2007 (Fernsehserie der BBC).

Der königliche Auftrag an die BBC, die Bevölkerung zu informieren, zu bilden und zu unterhalten, wurde 2005 erneut formuliert und mit Zielen verbunden, die die Darstellung Großbritanniens, neueste Kommunikationstechnologien, Bildung von Staatsbürgerschaft und Zivilgesellschaft, Lernen sowie die Förderung von Kreativität und kultureller Exzellenz betreffen.⁴ Die Fernsehreihe von 2007 über den britischen Film steht zu all diesen Zielen in Bezug, besonders aber zu der rational wie emotional angestrebten Konstruktion, Pflege und Weiterentwicklung des nationalen Selbstverständnisses.⁵ Die Informationssendungen über die Genres Krimi, Liebesgeschichte, Sozialer Realismus, Historienfilm, Horror & Fantasie, Kriegsfilm und Komödie wurden durch das Ausstrahlen von britischen Beispielen begleitet, die historisch mit ‚A Cottage at Dartmoor‘ (1929) anfangen und mit ‚The Plague‘ (2006) endeten. Die bekanntesten der bei der BBC verfügbaren Filme wurden in den Programmen von BBC 1 bis 4 gezeigt, um das hohe Niveau, das Ausmaß und die weltweite Bekanntheit des ge-



Hallam Foe (David Mackenzie 2007).

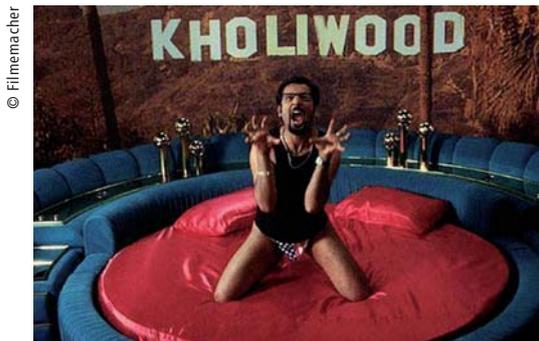
Dass erheblich mehr in diesem Film steckt und deshalb auch die nationale Perspektive präsent ist, macht eine Besprechung deutlich, die auf „zahllose Bezüge zu anderen filmischen oder literarischen Werken“ hinweist: „Von *Hamlet* bis Hitchcock wimmelt es vor Zitaten. Und so scheint es, als seien die geistigen Väter unserer Kulturgeschichte in diesem Film ebenso allgegenwärtig und bestimmend wie die verlorene Mutter in Hallams Welt. Bilder unseres kollektiven medialen Gedächtnisses finden sich hier inszeniert und revitalisiert, die eine Atmosphäre des Erinnerns und Nicht-Loslassen-Könnens anstimmen. Der innere Tumult der Hauptfigur und deren Unvermögen, mit Vergangenen abzuschließen, werden somit quasi auf die filmstilistische Ebene projiziert.“⁶ Genau hier findet sich auch die nationale Perspektive, die deutlich hörbar präsent ist, gleichzeitig aber auch in Frage gestellt wird durch den Britrock-Soundtrack von Franz Ferdinand und anderen. Die Filmmusik wurde auf der Berlinale 2007 mit dem Silbernen Bären prämiert. Auch hier ist Musik bisher nur als Mittel zum Anlocken jugendlicher Zuschauer in Erwägung gezogen worden und noch nicht ausreichend eingebettet im Kontext von Kultur- und Medientransfer.



St Trinian's (Oliver Parker & Barnaby Thompson 2008).

und ethnischer Identität, Freiheit und Verantwortung zeigen, welches aufschlussreiche Gemeinsamkeiten mit der von Ulrich Beck beschriebenen „Weltrisikogesellschaft“ (2008) aufweist.

„*St Trinian's*“ (2008) ist eine typische Ealing-Komödie, an der sich die Geschichte dieser Filmgattung und ihre Charakteristika, sowohl die sich mit der Zeit verändernden als auch die konstanten, sowie Elemente der aktuellen Medienkonvergenz gut aufzeigen lassen. Obwohl es auch um internationale Phänomene, wie Erziehungs- und Generationenprobleme, speziell um Girl-Power geht, haben Zuschauer immer wieder den Eindruck, dass eine typisch britische Form von Humor präsentiert wird: „Die britischste, schwarzhumorigste Antwort auf den ganzen Ami-Teenie-Einheitsmüll, die man sich vorstellen kann!“⁷ Was wirklich britisch ist, was in andere kulturelle Kontexte gehört und wie sich Kulturen vermischen (z. B. ist auch von der Verbindung der *Addams Family* mit den *Spice Girls* die Rede), muss jetzt genauer untersucht werden. Ebenso ist die Frage zu klären, ob die Beteiligung unterschiedlicher Medien am Film, an seiner Vermarktung und Rezeption, nur eine forcierte Variante bekannter Formen des Medientransfers ist oder ob sie eine neue Qualität erreicht hat, nämlich die der Medienkonvergenz. Lässt sich wirklich schon dezidiert sagen, dass mit Medienkonvergenz ein Paradigmenwechsel einhergeht, so dass sich nicht nur Medienprodukte in ihrer Herstellung und Vermarktung fundamental ändern, sondern ebenso ihre Rezeption und sogar die immer durch Medien bedingte Wahrnehmung von Wirklichkeit? Dies ist die Zielperspektive des Projekts, das zuerst eine Beschreibung der Qualitäten des britischen Films für den Kultur- und Medientransfer liefern will. Anschließend soll geprüft werden, ob die Bezeichnung ‚Konvergenzkultur‘, die Henry Jenkins 2006 schon etwas voreilig für unsere Zeit verwendete, wirklich passend ist und, wenn ja, welche Charakteristika sie aufweist.



Bride and Prejudice (Gurinder Chadha 2004)

Das Bild aus ‚*Bride and Prejudice*‘ (2004) verdeutlicht den hohen Grad an Intertextualität und -medialität dieses Films von Gurinder Chadha. Die Inderin wurde 1960 in Kenia geboren und lebt seit 1961 in London. Inder werden in den kulturellen Kontexten Indiens, Großbritanniens und der USA gezeigt. Chadha nutzt Jane Austens Klassiker ‚*Pride and Prejudice*‘ (1813), um dessen Hauptthemen in die Gegenwart zu übertragen. Die Geschlechter- und Generationenprobleme sind weitgehend erhalten und einer Komödie entsprechend behandelt, die Klassenspezifika dagegen wird bewusst in ein ethnisches Problem verwandelt. Aufschlussreiche Medien- und Kulturtransfers finden statt, die im Bild plakativ präsent sind: Kholi ist ein Inder, der in Los Angeles lebt und die amerikanische Lebensweise in parodistischer Übersteigerung repräsentiert. Der Film selbst mischt Hollywood- und Bollywoodfilme mit britischen ‚comedies of manners‘, also Sittenkomödien, die gesellschafts- und sozialkritische Perspektiven enthalten. Er gehört in eine Reihe aktueller britischer Filme, die ein neues Verständnis von individueller, nationaler

■ **Summary**

This project investigates film as a means of expressing, understanding and transferring cultures. Film is an international business, so where does British film come in, and what about English and Scottish film? Is film particularly suited and currently used for the representation of national characteristics? Film rather questions such ideas as well as traditional concepts of space, identity, and politics, and an international conference will show how this is done, whether new concepts are created, and how media convergence is changing people's awareness of media and reality.

Privat



Univ.-Prof. Dr. Klaus Peter Müller

Klaus Peter Müller, Jahrgang 1950, ist seit 2002 Professor für British Studies und Übersetzungswissenschaft in der Anglistik des Fachbereichs 06 der Johannes Gutenberg-Universität. Berufliche Entwicklung und Lehre an den Universitäten Bonn (Promotion), Düsseldorf (Habilitation), Humboldt-Universität Berlin, Dresden, Leipzig und Stuttgart. Forschungsschwerpunkte und Publikationen zu Kultur-, Translations- und Literaturwissenschaft, Medien(transfer), Kultur im Kontext von Epistemologie, Konstruktivismus und Hermeneutik sowie zu Konzepten der Moderne.

Professur für British Studies und Übersetzungswissenschaft in der Anglistik des Fachbereichs 06 der Johannes Gutenberg-Universität. Berufliche Entwicklung und Lehre an den Universitäten Bonn (Promotion), Düsseldorf (Habilitation), Humboldt-Universität Berlin, Dresden, Leipzig und Stuttgart. Forschungsschwerpunkte und Publikationen zu Kultur-, Translations- und Literaturwissenschaft, Medien(transfer), Kultur im Kontext von Epistemologie, Konstruktivismus und Hermeneutik sowie zu Konzepten der Moderne.

Literatur

1. http://www.bfi.org.uk/about/policy/pdf/screen_heritage_07_screen.pdf
2. <http://www.fask.uni-mainz.de/inst/iaa/tagung/>
3. http://www.amazon.de/This-England-Special-Thomas-Turgoose/dp/B000X8NP3S/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=dvd&qid=1243013588&sr=1-1
4. http://www.bbc.co.uk/info/purpose/public_purposes/index.shtml
5. <http://www.bbc.co.uk/britishfilm/summer/>
6. <http://www.critic.de/filme/detail/film/hallam-foe-965.html>
7. www.new-video.de/film-die-girls-von-st-trinians/

■ **Kontakt**

Univ.-Prof. Dr. Klaus Peter Müller
 Abteilung für Anglistik, Amerikanistik und Anglophonie
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 FB 06 Angewandte Sprach- und Kulturwissenschaft
 An der Hochschule 2
 D-76711 Germersheim
 Tel. +49 (0) 7274-50 83 52 40 (-547 Sekretariat)
 Fax +49 (0) 7274-50 83 55 40
 Email: kmueller@uni-mainz.de



FERNWÄRME FÜR MAINZ
 Heizkraftwerk GmbH Mainz

Günstig, komfortabel und umweltfreundlich.
 Das ist Fernwärme: Die richtige Alternative bei den heutigen Energiepreisen.

Heizkraftwerk GmbH Mainz · Kraftwerkallee 1 · 55120 Mainz
 Tel.: 0 61 31/9 76-1 34 70 · www.fernwaerme-fuer-mainz.de

Gesellschaftliche Wertveränderungen in Moderne und Postmoderne

Von Andreas Rödder und Christopher Neumaier

Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Projekt untersucht erstmals den Wertewandel in historischer Perspektive, das heißt vom Ende des 19. Jahrhunderts an bis heute. Wann, wie, wodurch und warum haben sich gesellschaftliche Wertsysteme verändert? Welche Bedeutung haben Werte für den gesellschaftlich-kulturellen Wandel?

„Die Ego-Gesellschaft. Jeder für sich und gegen alle“ titelte der Spiegel 1994. Die Bundesbürger hatten sich Anfang der 1990er Jahre scheinbar der eigenen Bedürfnisbefriedigung hingegeben, während sie Gemeinschaftswerte nicht mehr als handlungsleitende Maxime ansahen. Im öffentlichen Diskurs wurde diese Veränderung mit dem Schlagwort „Werteverfall“ beschrieben. Bereits Mitte der 1970er Jahre hatte die Leiterin des Allensbacher Instituts für Demoskopie, Elisabeth Noelle-Neumann, einen Verfall klassischer Werte wie Leistungsbereitschaft beklagt. Beinahe zeitgleich beschäftigte sich der US-amerikanische Politologe Ronald F. Inglehart mit Wertveränderungen, die er als Ablösung materialistischer durch postmaterialistische Wertvorstellungen interpretierte. Binnen weniger Jahre habe sich dieser Wandel in den westlichen Gesellschaften – so sein aufsehenerregender Buchtitel aus dem Jahr 1977 – als „stille Revolution“ vollzogen.

In Deutschland prägte der Speyerer Soziologe Helmut Klages die sozialwissenschaftliche Wertewandelsforschung. Seiner Auffassung nach wurden zwischen zirka 1965 und 1975 Pflicht- und Akzeptanzwerte wie Disziplin und Leistung durch Selbstentfaltungswerte wie Emanzipation und Selbstverwirklichung abgelöst. Klages betonte dabei stets, dass Pflicht- und Akzeptanzwerte, die sich weithin mit bürgerlichen Tugenden decken, nicht völlig verschwanden, sondern neben den Selbstentfaltungswerten weiter existierten. Damit unterscheidet er sich von Inglehart, der noch von einer Ablösung der „alten“ durch „neue“ Wertvorstellungen gesprochen hatte. Gemeinsam sind diesen unterschiedlichen Ansätzen indessen die Periodisierung und die Stoßrichtung des Wertewandels. Sie datieren den Zeitpunkt des Wandels durchweg auf den Zeitraum von etwa 1965 bis 1975 und beschreiben ihn als linear-teleologischen Modernisierungsprozess von traditionellen bürgerlichen Werten hin zu postmaterialistischen Selbstentfaltungswerten.

Unklar ist allerdings bis heute, ob sich die klassischen „bürgerlichen Werte“ wie Leistungsbereitschaft, Bil-

dungsstreben, Gemeinwohlorientierung, Religiosität und Familie auch vom ausklingenden 19. Jahrhundert bis zum „Wertewandelsschub“ der 1960er und 1970er Jahre, das heißt in historischer Perspektive veränderten und wenn ja, wie? Beschreibt ein modernisierungstheoretisches Modell die gesellschaftlichen Veränderungen hinreichend? Die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Wertewandelsforschung sind fragmentarisch geblieben, da die von ihr gewählte Methode der Umfrageforschung einer dreifachen Beschränkung unterliegt. Erstens sind die von ihr generierten Umfragen methodisch auf die Messung von Aussagen beschränkt. Zweitens sind damit thematische Grenzen gesetzt, da lediglich nach Gegenständen gefragt werden kann, die durch Umfragen zu erfassen sind. Komplexe gesellschaftliche Veränderungen werden dagegen nicht erschlossen. Drittens sind Survey-Forschungen zeitlich eingegrenzt, da sie ihre Daten erst erheben müssen. Aussagen zu Wertveränderungen vor Beginn der sozialwissenschaftlichen Wertewandelsforschung sind damit nicht möglich.

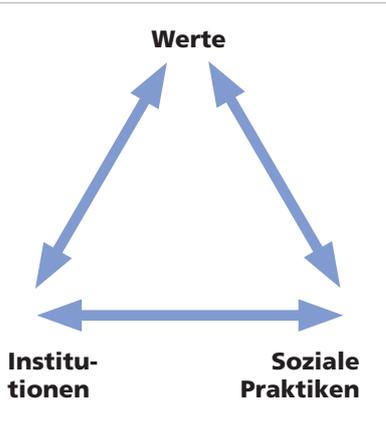
Soziologen selbst reflektieren diese Begrenzung ihrer eigenen Forschung und fragen nach dem Stellenwert des von ihnen bestimmten Wertewandels im Hinblick auf langfristige gesellschaftliche Wandlungsprozesse. An dieser Stelle setzt das DFG-geförderte Projekt „Wertewandel in Moderne und Postmoderne“ am Historischen Seminar der Johannes Gutenberg-Universität an. Es historisiert die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Wertewandelsforschung und fragt: Wann, wie, wodurch und warum haben sich gesellschaftliche Wertsysteme verändert? Welche Bedeutung haben Werte für den gesellschaftlich-kulturellen Wandel?

„Mainzer Wertewandelsdreieck“

Durch eine zeitliche, methodische und thematische Erweiterung der sozialwissenschaftlichen Wertewandelsforschung können die bisher erfassten Wertveränderungen im späten 20. Jahrhundert historisch verortet sowie qualitative Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu früheren Wertewandelsprozessen bestimmt werden. Werte werden als allgemeine und grundlegende Orientierungsstandards definiert, die für das Denken, Reden und Handeln auf individueller und kollektiver Ebene Vorgaben machen und dabei explizit artikuliert oder implizit angenommen werden. Das Mainzer Projekt baut auf das sozialphilosophische Werteverständnis von Hans Joas auf,



Titelblatt „Der Spiegel“, Ausgabe 22/1994.



Mainzer Wertewandeldreieck.

© Andreas Rödder, Christopher Neumaier, Jörg Neuheiser

der die Bedeutung von Werten in einem wechselseitigen Wirkungsverhältnis mit sozialen Praktiken und Institutionen (wie rechtlichen Regelungen oder materiellen Strukturen) verortet, ohne dass einer der Faktoren eindeutig vorgeordnet wäre. Daran knüpft das „Mainzer Wertewandeldreieck“ an, das in historisch-diachroner Perspektive nach dem Verhältnis dieser Faktoren fragt und die Entwicklung dieses Gefüges empirisch untersucht.

Erstens sollen die Diskurse über Werte anhand der Institutionen untersucht werden, die sich selbst als wertsetzend begreifen oder aber Werteentwicklungen reflektieren: Regierung, Parteien, Gewerkschaften und Kirchen; Massenmedien wie Tageszeitungen und Zeitschriften greifen diese Diskurse auf, führen sie ihrerseits und kommunizieren somit die unterschiedlichen Standpunkte bzw. die machtbehafteten Auseinandersetzungen über Wertvorstellungen in einer breiteren Öffentlichkeit. In einem zweiten Arbeitsschritt werden die institutionellen Rahmenbedingungen und die soziale Praxis ermittelt. Drittens werden – dies ist der letztlich entscheidende Schritt des Projekts – die Korrelation zwischen Werten, Institutionen und sozialer Praxis sowie die kausalen Wechselbeziehungen der drei Faktoren des Mainzer Dreieckmodells bestimmt. Das Projekt soll Aufschluss geben, ob und wann Wertewandel eine Folge veränderter sozialer Praxis wie auch institutioneller Arrangements war – und ob bzw. wie Veränderungen auf der Ebene der Wertediskurse zu Änderungen von Verhalten und von Institutionen führten.

Historische Wertewandelsforschung

Historische Wertewandelsforschung ist ein neues Forschungsfeld der Geschichtswissenschaften. Andreas Rödder hat die Projektidee mit nach Mainz gebracht, als er 2005 den Lehrstuhl für Neueste Geschichte übernahm. Nachdem die DFG 2007 eine erste Projektstelle bewilligte, wurden gemeinsam mit den beiden wissenschaftlichen Mitarbeitern Christopher Neumaier und Jörg Neuheiser der methodisch-theoretische Rahmen des Forschungsvorhabens sowie die Einzelprojekte entwickelt. Dazu trug nicht zuletzt ein interdisziplinärer Kick-Off-Workshop mit auswärtigen Historikern und dem Team des Mainzer Familiensoziologen Norbert F. Schneider bei. Vorträge an den Universitäten Frankfurt und Bielefeld stellten die Konzeption zur Diskussion und belegten zugleich ihre Tragfähigkeit. Unter dem Dach des Gesamtprojekts „Werte und Wertewandel in Moderne und Postmoderne“ werden zurzeit die beiden empirischen Teilstudien „Wandel familialer und familiärer Werte in Deutschland, 1880-1990“ sowie „Arbeitsethos, Leistungsbereitschaft und Einstellungen zur Arbeit in Deutschland im 20. Jahrhundert“ erarbeitet. Von diesem Kern aus ist das Projekt auf vielfältige Erweiterungen angelegt; militärische und zivile Werte, Gemeinwohl oder Heimat sind nur wenige Beispiele

für Themen, die sich zugleich in interkultureller Perspektive und in internationaler Kooperation erforschen lassen, um von Mainz aus eine systematische und umfassende historische Wertewandelsforschung zu etablieren.

Wertewandel in der Arbeitswelt

Das Teilprojekt „Wertewandel in der Arbeitswelt“ untersucht die Entwicklung und die Bedeutung des bürgerlichen Arbeitsethos in der Arbeitswelt im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Gab es eine dauerhafte Erosion des bürgerlichen Arbeitsideals oder eher einen Gestaltwandel? In welcher Beziehung stand das bürgerliche Arbeitsethos zu alternativen Wertvorstellungen? Oder handelte es sich bei solchen Alternativen um gegensätzliche Interpretationen des Ideals durch unterschiedliche soziale Gruppen? Welche Kommunikations- und Vermittlungsmechanismen von Werten lassen sich im Bereich der Arbeitswelt beobachten? Die Schwerpunkte bei der empirischen Umsetzung liegen auf Aushandlungsdiskursen und sozialen Praktiken, die sich über das gesamte 20. Jahrhundert erstrecken und damit eine historische Längsschnittuntersuchung erlauben. Zu den möglichen Themenkomplexen zählen Debatten um Arbeitszeit und Arbeitslosigkeit, um Konflikte im Verhältnis von Arbeitgebern zu Arbeitnehmern oder um die Rolle der Frauenarbeit, allgemeiner um den Gegensatz von Arbeit und Freizeit sowie die Bestimmung dessen, was Arbeit und Nicht-Arbeit heißt.

Familiäre und familiale Werte im Wandel

Das zweite Projekt thematisiert die Rolle der Werte für den Wandel der Familienstruktur im Zeitraum vom Deutschen Kaiserreich bzw. vom Beginn der Hochmoderne bis zur Wiedervereinigung des geteilten Deutschlands inmitten der Postmoderne. Familie fungiert über diesen Zeitraum als exemplarischer Querschnitt der gesellschaftlichen Veränderungen, und sie ist für die Biographie fast jedes Menschen der zentrale Ort der Sozialisation. Unter Familie wird dabei keineswegs ausschließlich die bürgerliche Kernfamilie verstanden, sondern es werden sämtliche Formen intergenerationaler Lebensgemeinschaften berücksichtigt. Ganz bewusst wurde ein möglichst hohes Abstraktionsniveau gewählt, um in der Perspektive nicht eingeschränkt zu sein.

Der Wandel familialer und familiärer Werte wird im Detail anhand von vier Untersuchungsgegenständen behandelt. Erstens wird nach dem Wandel der gesellschaftlich gehandelten Familienbegriffe bzw. Familienleitbilder sowie nach den Veränderungen der Morphologie und der Binnenstruktur der Familie gefragt. Zweitens wird die Funktion der Familie für die Gesellschaft bestimmt. Welche Funktion wurde der Familie in den Augen der gesellschaftlichen Eliten zugedacht? Wurden die Aufgaben der Familie für die

Gesellschaft in erster Linie moralisch, demografisch oder wirtschaftlich begründet? Drittens werden die Wertvorstellungen innerhalb der Familie analysiert. Wie kommunizierten Eltern Erziehungswerte und wie gaben sie dabei die den Familienmitgliedern zugeordneten Rollen an ihre Kinder weiter? Welche Wechselbeziehungen bestanden zwischen vorgelebter Realität und erzieherischer Vermittlung? Abschließend werden „abweichendes Verhalten“ wie voreheliche Sexualität und gesellschaftliche Sanktionierung betrachtet. Wurden Abweichungen von den postulierten Werten sanktioniert, wurden sie geduldet, aber diskursiv verurteilt, oder wurden sie akzeptiert? Oder verloren die Werte ihre Verbindlichkeit und wurden gar durch andere Wertvorstellungen ersetzt?

Ausblick

Die Komplexität des Wechselverhältnisses zwischen Werten, Institutionen und sozialer Praxis lässt darauf schließen, dass die von den Sozialwissenschaften als Referenz herangezogenen „bürgerlichen Werte“ vor 1965 keinesfalls unumstritten und allgemein akzeptiert waren. Die gesellschaftlichen Werteinstellungen zur Arbeit im 20. Jahrhundert etwa waren in sich heterogen und unterlagen einem permanenten Wandel, weshalb bei den Arbeitswerten nicht von einem klaren Bruch der Wertvorstellungen im Zeitraum von 1965 bis 1975 gesprochen werden kann. Vorläufige empirische Befunde zu den familialen und familiären Werten deuten darauf hin, dass bereits in den 1920er Jahren öffentliche Debatten über eine „Krise der Familie“ geführt wurden und dieser Topos nicht erst mit dem sozialwissenschaftlich gemessenen Wertewandel aufkam. Allerdings wurde zwischen 1965 und 1975 erstmals die Familie selbst in Frage gestellt, und damit trat ein qualitativer Unterschied zur Veränderung von Familienwerten in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu Tage. Von einem Wertewandel kann also durchaus gesprochen werden, auch wenn es nicht zu einem so radikalen Bruch mit traditionellen Werten und einer bedingungslosen Hinwendung zu individualistischen Selbstentfaltungswerten kam, wie die synchrone Wertewandelsforschung bislang angenommen hat. Die Tragweite dieses Umbruchs ist damit freilich noch nicht hinreichend bestimmt. Erst die empirischen Ergebnisse der Einzelstudien werden Aufschluss über seine Bedeutung für langfristige gesellschaftliche Wertewandelsprozesse im 20. Jahrhundert geben – und zugleich den Wertekosmos des frühen 21. Jahrhunderts in der langfristigen historischen Perspektive neu beleuchten.

■ Summary

According to socio-scientific research, individualistic values of self-actualization superseded traditional values in the period from around 1965 until 1975. This research on value change, however, is limited to the last third of the 20th century and excludes the

changing of values from the late 19th century up to the 1960s. When, how and why did values change in the 20th century? The research project “Value Change in Modernity and Post-Modernity” addresses these questions. It aims to locate the value change identified by social scientists within the processes of cultural change in the 20th century.

Christoph Mukherjee



Univ.-Prof. Dr. Andreas Rödder

Andreas Rödder, geboren 1967 in Wissen (Sieg), studierte Geschichte und Germanistik in Bonn und Tübingen und wurde 1995 mit einer Dissertation über „Stresemanns Erbe. Julius Curtius und die deutsche Außenpolitik 1929-1931“ in Bonn promoviert. Von 1994 bis 2005 lehrte er als Wissenschaftlicher Assistent, seit 2001 als Hochschuldozent an der Universität Stuttgart, wo er sich 2001 mit einer Studie über „Die politische Kultur der englischen Konservativen zwischen ländlicher Tradition und industrieller Moderne 1846-1868“ habilitierte. 2001/02 war er Stipendiat am Historischen Kolleg in München, 2004 Gastprofessor an der Brandeis University, Boston (Ma.). Seit dem Sommersemester 2005 ist Andreas Rödder W3-Professor für Neueste Geschichte an der Johannes Gutenberg-Universität mit dem Schwerpunkt Internationale Geschichte des 19. und 20. Jahrhunderts. Seine bisherigen Forschungsschwerpunkte liegen auf dem viktorianischen England und der Geschichte des Konservatismus, der Weimarer Republik und der internationalen Politik der Zwischenkriegszeit sowie der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland insbesondere in den 70er und den 80er Jahren. Unter dem Titel „Deutschland einig Vaterland“ erschien 2009 im Münchener Beck-Verlag seine vielbeachtete „Geschichte der deutschen Wiedervereinigung“.

Andreas Linsenmann



Christopher Neumaier, M.Phil.

Christopher Neumaier, geboren 1978, studierte Neuere und Neueste Geschichte, Sozial- und Wirtschaftsgeschichte sowie Soziologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München und European Studies an der University of Cambridge. Seine im Jahr 2008 an der Technischen Universität München eingereichte Promotion analysiert die diametral entgegengesetzte Verbreitung von Dieselaautos in Deutschland und in den USA. Seit April 2008 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-geförderten Projekt „Historische Wertewandelsforschung“ am Historischen Seminar der Johannes Gutenberg-Universität tätig. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Kultur- und Technikgeschichte.

■ Kontakt

Christopher Neumaier, M.Phil.
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Historisches Seminar, Abteilung IV
 Jakob-Welder-Weg 18
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39271 92
 Fax +49 (0) 6131-39271 15
 Email: neumaier@uni-mainz.de
<http://www.uni-mainz.de/FB/Geschichte/hist4/472.php>

Informationstechnologie in Mainz konstituiert sich neu

Von Herbert Göttler, Jürgen Perl und Elmar Schömer

Neben Forschung, Lehre und wissenschaftlicher Weiterbildung hat eine Universität weitere gesellschaftspolitische Aufgaben, insbesondere die Kooperation mit Unternehmen aus der Region. Das Institut für Informatik sieht diese Aufgaben als sehr wichtig an und hat daher die Einladung des Wirtschaftsdezernats der Landeshauptstadt Mainz gerne angenommen, sich an der Gründung und Gestaltung des IT-Forums Mainz aktiv zu beteiligen.

Das Institut für Informatik arbeitet bereits seit vielen Jahren mit Unternehmen zusammen, indem es Arbeitskreise organisiert, Forschungsprojekte durchführt sowie Praktikantinnen und Praktikanten beziehungsweise Absolventinnen und Absolventen vermittelt. Das IT-Forum bietet den Betrieben der Informations- und Kommunikationstechnologie, die sich mittlerweile zu einem bedeutenden Wirtschaftszweig in der Region Mainz entwickelt hat, die Möglichkeit, sich über aktuelle Themen und Kooperationen zu informieren. Die Landeshauptstadt wird dadurch in der Außenbetrachtung deutlicher als IT-Standort wahrgenommen und kann sich im Standortwettbewerb noch besser positionieren. Beschäftigung und Wachstum in der Region werden auf diese Weise gefördert. Die folgenden Beispiele sollen einen Einblick in die Vielfältigkeit der Forschung am Institut für Informatik geben.

Praktische Informatik – Stahlband-Fingerprints

Fieberkurven und Aktienkurse sind bekannte Beispiele für Darstellungen, wie sich ein numerischer Wert im Laufe der Zeit verändert. Der übergeordnete Begriff für solche zeitabhängigen Folgen von Datenpunkten ist die „Zeitreihe“. Für die Qualitätssicherung in der Produktion von Stahlblechen und deren Weiterverarbeitung hat die Arbeitsgruppe Praktische Informatik in Kooperation mit den Firmen iba-AG in Fürth und voestalpine in Linz Verfahren zur Zeitreihenanalyse entwickelt. Einige davon sind so erfolgreich, dass sie zur Grundlage eines Patentes geworden sind und in einem Produkt der iba-AG, dem sogenannten ibaAnalyzer, vermarktet werden.

Abb. 1: Warmwalzstraße zur Produktion von Stahlbändern.



© voestalpine Stahl GmbH

Was ist der technische und betriebswirtschaftliche Hintergrund? Abbildung 1 zeigt den Produktionsprozess von langen Stahlbändern,

sogenannten Coils, in einem Warmwalzwerk. Das aufgewickelte dünne Blech kann bis zu 3.000 Meter lang sein. Aus ihm werden zum Beispiel bei einem Autobauer Kotflügel gepresst. Bei der Coil-Produktion werden die verschiedensten Werte gemessen. Der wichtigste dabei ist die Dicke. Alle gemessenen Parameter werden in einer riesigen Produktionsdatenbank gespeichert.

Tritt nun beispielsweise an einem Kotflügel ein Rostschaden auf, will man den ganzen Produktionsprozess dahingehend analysieren, welche Prozessstörung der Grund für den Qualitätsmangel ist. Ist das Dickenprofil des Blechs, aus dem der Kotflügel gepresst wurde, vor der Pressung vermessen worden, wäre es jetzt sehr nützlich, wenn man diesen Profilabschnitt innerhalb des in der Produktionsdatenbank gespeicherten Profils des Mutter-Coils lokalisieren könnte. Das Problem dabei ist, dass die Dickenvermessung des Kotflügelblechstücks nie an den gleichen Stellen geschieht, wie es beim Mutter-Coil der Fall war. So ergeben sich bestenfalls ähnliche aber nie identische Profile/Zeitreihen. Ebenso wie ein Fingerabdruck die Identität einer Person widerspiegelt, erlauben Dickenprofile also die Identifizierung von Coils. Deshalb wurde das Projekt „Stahlband-Fingerprints“ getauft. Dabei genügen für die Eindeutigkeit – ebenso wie bei Fingerabdrücken – auch nur Teilabschnitte des Coils.



Abb. 2: Zwei Zeitreihen im Dataskop.

Um sich überhaupt zu überzeugen, dass die Idee funktioniert, wurde ein Programm namens „Dataskop“ entwickelt, mit dem man Messkurven per Hand gegeneinander ausrichten („alignen“) kann (vgl. Abb. 2), also sie zum Beispiel streckt, staucht, verschiebt oder ähnliches. Aber selbst das für uns Menschen recht einfache Problem, zwei Zeitreihen durch „Hinschauen“ miteinander auf Ähnlichkeit zu vergleichen, macht beim Einsatz von Computern große Schwierigkeiten. Sie können nicht so „sehen“ wie Menschen. Also mussten erst geeignete Verfahren für ein automatisiertes Alignment entwickelt werden.

© H. Göttler

Eines dieser Verfahren soll hier kurz erläutert werden. Stellen Sie sich vor, Sie müssen als Rennfahrer bei zwei ziemlich langen Rennstrecken bestimmen, ob die kürzere gleich einem Teilabschnitt der längeren ist. Die Vogelperspektive dürfen Sie dabei nicht einnehmen! Wie können Sie den Sachverhalt entscheiden? Nun, eine Möglichkeit ist die, dass Sie die kürzere Rennstrecke zunächst abfahren und sich die Reihenfolge der Lenkeinschläge notieren. Dann tun Sie dies auch für die längere, wobei Sie, von der Startlinie ausgehend, immer weiter in Richtung Ziel schrittweise für jeden Abschnitt die Reihenfolge der Lenkeinschläge bestimmen. Wenn die „Gleichförmigkeit“ für einen Abschnitt oberhalb einer gewissen Schwelle liegt, können Sie behaupten, dass die kleinere Rennstrecke (fast) gleich dem Abschnitt in der größeren ist, andernfalls verneinen. Die Analogie ist klar: Eine Zeitreihe entspricht einer Rennstrecke.

Angewandte Informatik – netzgestützte Musteranalyse

Die technischen Möglichkeiten, aus komplexen Prozessen Daten automatisch zu extrahieren und weiter zu verarbeiten, sind in den letzten Jahren deutlich verbessert worden und haben damit entsprechend stark an Bedeutung gewonnen. Das Spektrum reicht dabei von Kommunikationsprozessen, etwa im Internet, und technischen Prozessen, wie zum Beispiel in der Produktion, über Bewegungsprozesse in der Logistik bis hin zu Rehabilitationsprozessen sowie motorischen Prozessen in der Prothetik oder im Sport. Mit steigenden Datenmengen wird es allerdings auch zunehmend schwieriger, aus den Daten die wesentliche Information zu extrahieren.

Die dafür im Bereich Data Mining entwickelten, regelbasierten Suchverfahren können außerordentlich effizient sein – wenn das Ziel der Suche bekannt ist. Ist diese Zielinformation dagegen unbekannt, dann gleicht das einer Suche nach der Nadel im Heuhaufen und derartige konventionelle Ansätze versagen in der Regel. Das ist beispielsweise der Fall, wenn unbekannte Ähnlichkeits- oder Clusterstrukturen, neue Muster und unauffällige Abweichungen oder seltene aber relevante Ereignisse in komplexen Datenmengen entdeckt werden sollen.

In solchen Situationen sind häufig selbstorganisierende künstliche Neuronale Netze (SOM) besser geeignet. Sie organisieren das Datenmaterial selbständig, fassen es in Gruppen oder Cluster ähnlicher Daten zusammen und erkennen dadurch sowohl die inhärente Struktur der Daten als auch die Verteilung der Daten über dieser Struktur. Diese Fähigkeiten der SOMs sind in unserer Arbeitsgruppe um die Fähigkeiten der zeitdynamischen Anpassung und der Erkennung seltener, aber relevanter Information zum Konzept DyCoN (Dynamically Controlled Network) ergänzt worden. Außer bei der Analyse taktisch-strategischer Muster

in Sportspielen wie Handball und Fußball, wird DyCoN derzeit zur Erkennung statischer Datenmuster und dynamischer Entwicklungen in der Finanzwirtschaft (Risikoerkennung) eingesetzt. Abbildung 3 zeigt als Beispiel die Erkennung von Versicherungsbetrug.

Das Netz wird zunächst mit Datenmustern von Versicherungsfällen trainiert. Anschließend werden die Neuronen mit bereits zugeordneten Falldaten semantisch geprägt und entsprechend eingefärbt. Im Einsatz kann das Netz dann für einen vorgelegten Datensatz aufgrund des korrespondierenden Neurons entscheiden, ob es sich um einen Betrugsfall (violette Neuron), einen unverdächtigen Fall (grünes Neuron) oder um einen unklaren Fall (gelbes Neuron) handelt. Das Netz kann mit der Zeit weiter trainiert werden und so auch dynamische Änderungen in der Betrugslandschaft erkennen.

Ein weiterer Einsatzbereich von DyCoN liegt in der prognostischen Überwachung von Rehabilitationsprozessen (postoperative klinische Versorgung). Abbildung 4 zeigt als Beispiel die zeitliche Entwicklung von Genesungsprozessen.

Das Netz wird mit Zustandsmustern von Patienten trainiert und mit den Zustandsbewertungen semantisch geprägt bzw. gefärbt. Die Folge der erfassten Patientenzustände zeigt als Trajektorie auf den Neuronen des Netzes (rote Linie) die Entwicklung des Zustandes über die Zeit – hier vom negativen Bereich (violette Neuronen) in den positiven Bereich (blaue Neuronen). Mithilfe des eingeblendeten Phasendiagramms wird der Verlauf vereinfacht repräsentiert.

DyCoN kann ebenfalls für die Kontrolle von Bewegungsmustern in Sicherheitsbereichen, wie etwa der Passagier- und Frachtströme an Flughäfen und auf Bahnhöfen, verwendet werden. Sollen auffällige Bewegungsmuster erkannt werden, wird das Netz zunächst mit Datenmustern von Bewegungen trainiert und dann zum Beispiel mit ausgewählten Positionen oder Arealen semantisch geprägt.

Bewegungen werden dann auf dem Netz durch Bewegungs-Trajektorien dargestellt. Transformiert in Phasen-Diagramme geben sie Auskunft über die zeitliche Dynamik der Bewegung, wie etwa Verweilzeiten oder Geschwindigkeiten. Unterschiedliche Bewegungsflüsse (orange und blau in Abb. 5) stehen so zur vergleichenden Analyse und zur Erkennung von Auffälligkeiten zur Verfügung.

Computergrafik – geometrische Algorithmen

Computergenerierte Bilder oder Bildsequenzen sind in unseren Medien allgegenwärtig. Oft ist nur schwer erkennbar, dass es sich um synthetische Bilder handelt, denn der Detailreichtum der zugrunde liegenden geometrischen Modelle ist hoch, Licht und Schatten

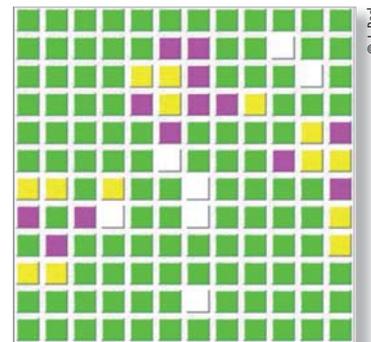


Abb. 3: Semantisch eingefärbte Neuronen auf einem trainierten Netz.

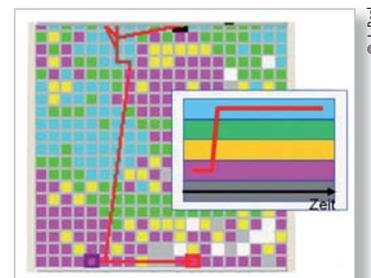


Abb. 4: Prozess-Trajektorie auf dem Netz und als Phasendiagramm.



Abb. 5: Trajektorien zur vergleichenden Auffälligkeits-Analyse.

wirken realistisch und selbst komplizierte Bewegungsabläufe werden wirklichkeitsgetreu dargestellt. In 3D-Kinos ist durch stereoskopische Projektion sogar eine räumliche Wahrnehmung einer Szene möglich. Während die Bildsequenzen für computeranimierte Filme mit hohem zeitlichen Aufwand vorberechnet werden können, stellt sich in interaktiven Spielen die Herausforderung, die virtuelle Realität einer Spielszene in Echtzeit zu erzeugen. Das bedeutet, dass alle Berechnungen, die die Geometrie, die Bewegungen, die Beleuchtung und sonstige Spezialeffekte betreffen, mit einer Geschwindigkeit von 25 Bildern pro Sekunde ausgeführt werden müssen.

Dies ist nur dank der immer leistungsfähigeren Grafikprozessoren möglich, die aus hunderten von Recheneinheiten aufgebaut sind. Inzwischen können Grafikprozessoren neben der reinen Visualisierung auch numerische Simulationsaufgaben übernehmen und sind darin aufgrund ihrer parallelen Architektur dem Hauptprozessor deutlich überlegen. Bei der Software gibt es jedoch erheblichen Nachholbedarf, effiziente parallele Algorithmen und Datenstrukturen für die Verarbeitung geometrischer Daten zu entwickeln. Unsere diesbezüglichen Forschungsthemen liegen aber weniger im Bereich der Unterhaltungsmedien, sondern konzentrieren sich auf ingenieur- und naturwissenschaftliche Anwendungen. Einsatzmöglichkeiten finden sich etwa im Bereich des computerunterstützten geometrischen Entwurfs, der konfliktfreien Planung von Montageprozessen sowie der Visualisierung und Verarbeitung von Mess- und Simulationsdaten, wie sie zum Beispiel in der Meteorologie, der Kristallografie oder der Computertomografie anfallen. In diesen Bereichen können Methoden der Computergrafik und der geometrischen Datenverarbeitung hervorragend eingesetzt werden. Ein intensiv von uns erforshtes Themengebiet sind beispielsweise geometrische Packalgorithmen.

Schon Johannes Kepler hat sich mit Packungsproblemen beschäftigt. Erst vier Jahrhunderte später gelang es Thomas Hales mithilfe von Computerprogrammen, die Keplersche Vermutung zu den dichtesten Kugelpackungen zu verifizieren. In seinem internationalen Programmierwettbewerb hat Al Zimmermann folgende abgewandelte Form eines Kreispackungsproblems formuliert: Wie ordnet man unterschiedlich große Kreise mit den Radien von „1“ bis „n“ so an, dass der umschließende Kreis den kleinstmöglichen Radius hat? Lesen Sie dazu mehr in dem Beitrag von Johannes J. Schneider und Elmar Schömer auf Seite 26.

Die besondere Schwierigkeit dieses Optimierungsproblems besteht darin, dass es eine ungeheuer große Anzahl von verschiedenen Anordnungen gibt, die man unmöglich alle inspizieren kann. Durch zufällige, lokale Umordnungen kann man jedoch schrittweise eine gegebene Anordnung verbessern und sich

dem gesuchten Optimum annähern. Mit derartigen Methoden der stochastischen Optimierung konnten wir vor kurzem alle bis dahin geltenden Rekorde für dieses Kreispackungsproblem einstellen bzw. unterbieten.

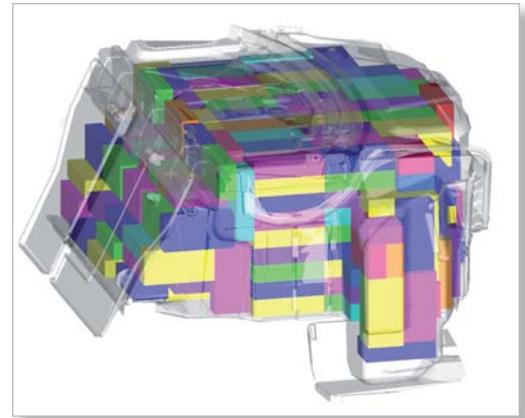


Abb. 6: Normgerechte Packung eines Mercedes-Kofferraumes.

Praktische Anwendungen finden Packalgorithmen beispielsweise bei der Minimierung des Verschnitts, wenn Schnittmuster auf Stoffbahnen platziert werden. Im Auftrag der Daimler AG haben wir darüber hinaus Algorithmen zur normgerechten Vermessung des Volumens eines Pkw-Kofferraumes (DIN 70020-1, ISO 3832) entwickelt (Abb. 6). Das in den Verkaufsprospekten angegebene Volumen entspricht nämlich nicht der Flüssigkeitsmenge, die ein Kofferraum aufnehmen kann, sondern der Zahl von einem Liter großen Quadern, die dort untergebracht werden können. Auf diese Art und Weise kann die Sperrigkeit des Kofferraumes besser charakterisiert werden.

■ Summary

Research is often perceived as producing pretty pictures but no viable results. Computer Science, as practiced at the Computer Science Institute at the University of Mainz, is not esoteric in this way but produces both pretty pictures and useful results, products, and contacts. Numerous projects have been inspired and implemented in a wide variety of applications ranging from geometric packing algorithms, optimizing industrial manufacturing processes to pattern recognition in health care in collaboration with industrial partners. The recently established IT-Forum is expected to help both partners to bridge the gap between theory and practice even more successfully.



Univ.-Prof. Dr. Elmar Schömer, Univ.-Prof. Dr. Herbert Göttler und Univ.-Prof. Dr. Jürgen Perl (vlnr).

Univ.-Prof. Dr. Herbert Göttler

Herbert Göttler, geboren 1946, studierte von 1966 bis 1972 Mathematik und Physik; die Promotion erfolgte 1977; danach bis 1980 Hauptgruppenleiter „Mathematische Methoden“ im Bereich Reaktorsicherheitsanalyse bei der Firma Kraftwerk-Union; Habilitation im Jahr 1987; bis 1989 Akademischer Rat/Oberrat an der Universität Erlangen-Nürnberg; bis 1990 Lehrstuhlvertretung Universität Stuttgart; seit 1990 Professor für Praktische Informatik in Mainz. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Programmiersprachen und Compiler sowie Internet-Technologie. Einblick in seine praktische Arbeit gibt der erste Teil des Beitrags zu den Stahlband-Fingerprints.

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Perl

Jürgen Perl, geboren 1944; promovierte 1971 in Berlin, wo er 1974 auch habilitiert wurde. Im Jahre 1974 erfolgte der Ruf auf eine Professur für Angewandte Mathematik und Informatik an die Universität Osnabrück. Seit 1984 leitet er den Lehrstuhl für Informatik an der Universität Mainz. Aufbau der Sportinformatik seit 1989, internationale Aktivitäten seit 1997. Von 2003 bis 2007 war er Präsident der International Association of Computer Science in Sport; seit 2007 ist er Ehrenpräsident der IACSS. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Modellbildung und Simulation, Sportinformatik sowie Medizininformatik. Im Mittelteil des Beitrags stellt er als Beispiel die netzgestützte Musteranalyse vor.

Univ.-Univ.-Prof. Dr. Elmar Schömer

Elmar Schömer, Jahrgang 1963, studierte Informatik an der Universität des Saarlandes. Nach seiner Promotion (1994) und seiner Habilitation (1999) war er als Senior Researcher im Bereich Computational Geometry am Max-Planck-Institut für Informatik tätig. Seit Oktober 2002 ist er Professor für Praktische Informatik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Computergrafik sowie effiziente geometrische Algorithmen und Optimierungsmethoden, wie im letzten Teil des Beitrags dargestellt.

■ Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Perl
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Institut für Informatik, FB 08
 Staudingerweg 9
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-3922 838
 Email: perl@informatik.uni-mainz.de
 goettler@informatik.uni-mainz.de
 schoemer@informatik.uni-mainz.de

Muscheln – Archive der Erdgeschichte

Von Bernd R. Schöne

Muscheln bergen das wohl umfangreichste, zeitlich und räumlich am höchsten aufgelöste Umwelt-, Wetter- und Klimaarchiv der Erdgeschichte. Ihre Schalen sind nicht nur in Sedimentgesteinen der vergangenen zirka 500 Millionen Jahre fossil überliefert, sondern auch Bestandteil von Küchenabfallhaufen vieler archäologischer Stätten. In Mainz werden die Grundlagen erarbeitet, um dieses Archiv zu lesen und zu verstehen. Mit solchen Daten lassen sich Modelle zur Klimageschichte optimieren oder Gewässerqualitäten prüfen.

Eine genaue Kenntnis des Klimas der Erdgeschichte einschließlich seiner Zyklen, Schwankungsbreiten und Extreme bildet die Grundlage verlässlicher Prognosen zur künftigen Klimaentwicklung. Computermodelle zur Klimavorhersage werden nämlich an solchen Paläoklimadaten „geeicht“ und optimiert. Nur wenn die berechneten Daten mit Paläoklimadaten gut übereinstimmen, lassen sich diese Rechenmodelle für die Simulation des Klimas der Zukunft anwenden.

Muschel-Methusalems

Demgegenüber leben Muscheln in den verschiedensten Habitaten: in Polnähe und am Äquator, im Flachmeer und in der Tiefsee, im Meer, in Flüssen und Seen. Sie gehören zum Stamm der Weichtiere (Mollusca) und sind bereits in mehr als 500 Millionen Jahre alten Gesteinen nachweisbar. Ihre beeindruckende Artenvielfalt erklärt sich auch durch die Vielzahl unterschiedlicher Lebens- und Ernährungsweisen. Einige Arten existieren beispielsweise zeitlebens mehr als einen Meter tief im Sediment vergraben, während andere frei auf der Sedimentoberfläche liegen. Einige Arten können bei Gefahr sogar Strecken von bis zu zehn Metern „schwimmend“ überwinden. Besonders beeindruckend sind allerdings die Schalen der Tiere. Sie schützen den Weichkörper und fungieren als Ansatzstelle für Muskeln, welche die Klappen schließen können. Darüber hinaus sind die Schalen ein exzellentes Archiv für Wetter, Klima und Umwelt. Damit beschäftigt sich der Forschungsweig der Sclerochronologie.

Muschelschalen können als Biokeramiken charakterisiert werden. Es handelt sich um einen Verbundstoff aus einem Mineral (Kalziumkarbonat, CaCO_3) und organischen Substanzen (Proteine, Zuckermoleküle; vgl. Abb. 1). Die Schalen wachsen während des gesamten Lebens der Tiere, allerdings mit sehr unterschiedlicher Geschwindigkeit. Viele Muschelarten drosseln die Kalziumkarbonatproduktion in der kalten, andere in der warmen Jahreszeit deutlich. Derartige Wachstumsreduktionen manifestieren sich wie bei Bäumen als „Jahrringe“. Sie sind am deutlichsten im Schalenquerschnitt erkennbar, ansatzweise auch auf der Schalenoberfläche. Anhand der Jahrringe lässt sich das Lebensalter der Tiere ermitteln und das kann außerordentlich hoch sein, wie Studien von uns gezeigt haben. Tatsächlich können einige Arten fast 400 Jahre alt werden! Muscheln sind damit die langlebigsten, skeletttragenden, solitären (einzeln lebenden) Tiere unseres Planeten. Zum Vergleich: Wale erreichen ein Alter von bis zu 250 Jahren, Schildkröten bis zu 180 Jahren, Fische bis zu 205 Jahren. Der älteste Mensch, Jeanne Calment, starb am 4. August 1997 im Alter von 122 Jahren.

Langzeitliche Klimaarchive

Wie das Klimaarchiv Muschelschale funktioniert, wird im Folgenden mit Beispielen erläutert. Die Wachstumsrate der Schalen weist deutliche Jahr- zu-

Meteorologische Beobachtungen reichen selten mehr als 150 Jahre zurück. Paläoklimadaten vor 1850 müssen deshalb aus anderen Archiven rekonstruiert werden, traditionell aus Bäumen, Korallen, Eiskernen und Sedimentgesteinen. Jahrringbreite und Jahrringdichte von Bäumen liefern wertvolle Informationen zu Schwankungen im Niederschlag. Geschichtete Sedimente geben Aufschluss über Wassertemperaturen, Bioproduktivität oder Starkregenereignisse. Eiskerne informieren über Lufttemperaturen oder die Gaszusammensetzung der ehemaligen Atmosphäre, zum Beispiel den Kohlendioxidgehalt. Derzeit verfügbare Paläoklima-Archive sind jedoch in ihrer räumlichen Anwendbarkeit und zeitlichen Auflösung stark begrenzt. Beispielsweise

ist die zeitliche Auflösung von Sedimenten, Eiskernen, Korallen und Bäumen bestenfalls jährlich; saisonale Ereignisse können keinem Kalenderdatum zugeordnet werden. Bäume liefern außerdem nur dann Klimadaten, wenn sie an Extremstandorten wie der Baumgrenze im Hochgebirge wachsen. Die meisten Korallen wachsen ausschließlich in den Tropen.

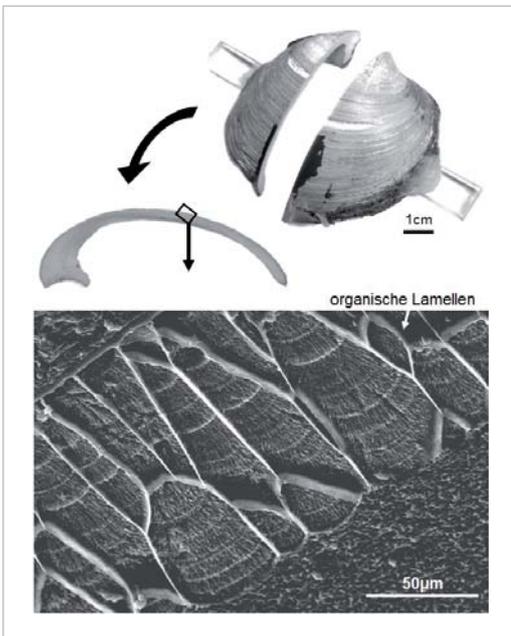


Abb. 1: Verbundstoff Muschelschale. Im angeätzten Schalenquerschnitt sind organische Lamellen sichtbar, die Kalziumkarbonatkristalle umhüllen.

Jahr-Variationen auf. Diese Schwankungen gehen mit Änderungen im Nahrungsangebot oder der Wassertemperatur einher. Je mehr Nahrung verfügbar oder je höher die Temperatur ist, desto schneller wachsen die Schalen. Die Breite der Jahresinkremente fungiert also als Indikator für die Nahrungsverfügbarkeit und/oder die Wassertemperatur, und das an jedem beliebigen Standort (Abb. 2).

Unsere Untersuchungen an Schalen der Islandmuschel, *Arctica islandica*, haben beispielsweise gezeigt, dass die Nahrungsverfügbarkeit in der Nordsee periodisch schwankt. Alle acht Jahre bilden die Muscheln besonders breite Inkremente aus, wachsen also besonders rasch. Dieser Acht-Jahres-Zyklus ist mit der Nordatlantischen Oszillation korreliert, dem Klimamotor der Nordhemisphäre (Abb. 3). Er ist definiert über die Luftdruckdifferenz zwischen dem Islandtief und dem Azorenhoch. Je größer die Druckdifferenz, desto stärker sind die atmosphärischen und ozeanischen Strömungen ausgeprägt und desto höher ist die Menge organischer Nahrungspartikel in der Wassersäule, also der Nahrung der Muscheln. Die Islandmuschel enthält somit ein Archiv für Schwankungen der Nordatlantischen Oszillation in der Zeit vor Aufnahme meteorologischer Messungen. Jede einzelne fossile Muschelschale öffnet uns also ein Fenster in die klimatische Vergangenheit.

Der Zeitraum, über den Muscheln solche Klimainformationen liefern, ist jedoch keineswegs auf die Lebensspanne eines einzelnen Individuums begrenzt. Vielmehr lassen sich die „Jahrring“-Zeitreihen von einzelnen Individuen mit überlappenden Lebensspannen miteinander zu sehr viel längeren Zeitreihen verknüpfen. Diese so genannten Masterchronologien (Abb. 4) können sich über viele Muschelgenerationen erstrecken. Ausgehend von lebend aufgesammelten Muscheln, also Individuen mit bekanntem Sterbedatum, lassen sich solche Masterchronologien Schritt für Schritt durch fossile Muscheln weiter in die Zeit zurück ausdehnen. Wie in der Dendrochronologie werden dabei die Zuwachsmuster von fossilen Individuen, deren Sterbedatum nicht bekannt ist, mit dem Zuwachsmuster einer bereits etablierten Masterchronologie verglichen und an geeigneter Stelle eingefügt. Unsere Forschung steht noch ganz am Beginn, hat aber die prinzipielle Machbarkeit dieser Methode in verschiedenen Arbeiten dokumentiert.

Muschelschalen mit eingebautem Kalender

Muschel-Sclerochronologie ist nicht auf die Jahresinkremente begrenzt. Bei mikroskopischer Betrachtung lassen sich innerhalb eines Jahresinkrements sogar tägliche Zuwachsmuster erkennen. Besitzen Muscheln tägliche (circadiane) biologische Uhren? Tatsächlich wird das durch unsere Versuche mit lebenden Muscheln untermauert. Teichmuscheln halten Ihre Klappen für zirka acht Stunden pro Tag

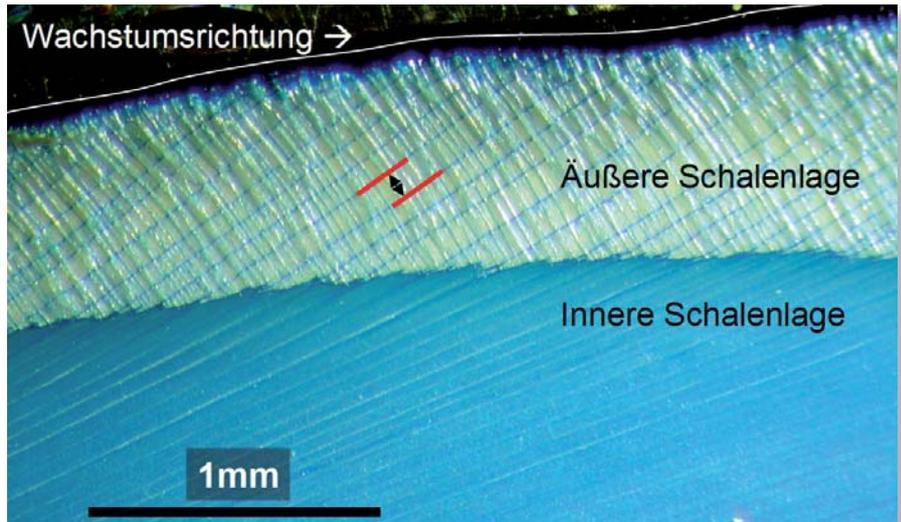


Abb. 2: „Jahrringe“ (rot) im Querschnitt der chemisch behandelten Schale einer Flussperlmuschel.

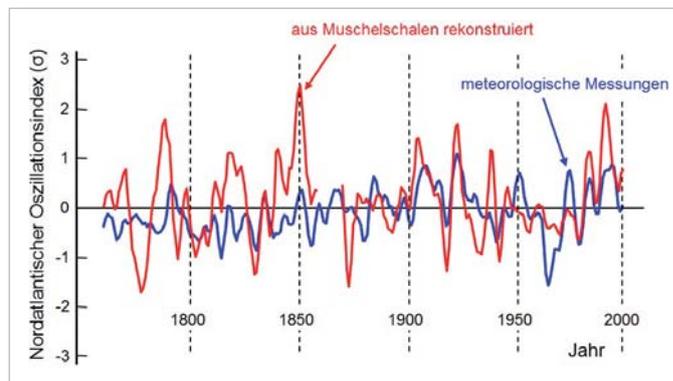


Abb. 3: Nordatlantische Oszillation, instrumentelle Messdaten und Rekonstruktion aus den Zuwachsvariationen von Muschelschalen.

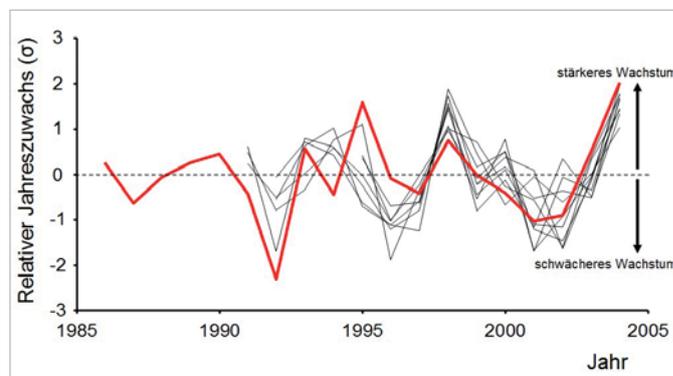
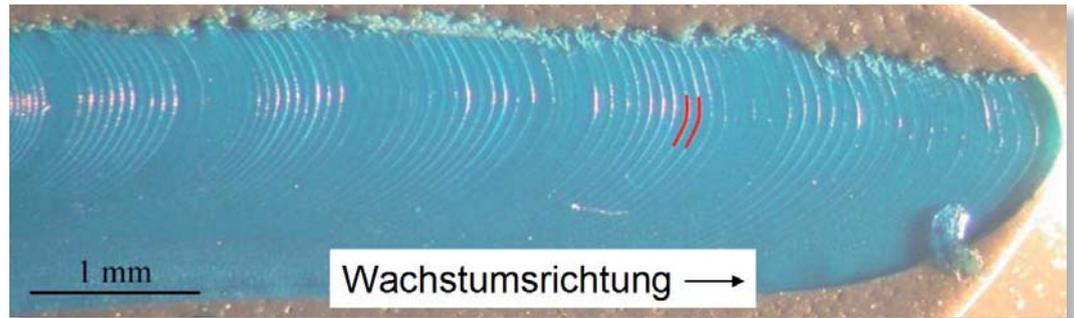


Abb. 4: Wenn der Schalenzuwachs durch Umwelteinflüsse gesteuert wird, verlaufen die Zuwachskurven von zeitgleich lebenden Muscheln ähnlich. Rot = Masterchronologie; positive Werte = stärkeres Wachstum, negative Werte = schwächeres Wachstum, jeweils im Vergleich zum Mittelwert.

geschlossen. Während dieser Zeit wird ein „Tagesring“ gebildet. In den verbleibenden 16 Stunden jedes Tages wachsen die Schalen dagegen rasch, ein Inkrement bildet sich. Tageszuwachsmuster sind ein exzellenter Kalender, mit dem jeder Schalenabschnitt auf den Tag genau datiert werden kann, sofern bekannt ist, wann die Muschel gestorben ist (vgl. Abb. 5).

Insbesondere für die Anthropologie ist dieser hoch präzise Schalenkalender von herausragender Bedeutung. Bei vielen indigenen Völkern standen Muscheln auf dem Speiseplan. Davon zeugen unzählige Küchenabfallhaufen (dänisch: Køkkenmøddinger;

Abb. 5: Täglicher Schalenzuwachs (rot = ein Tag) im Querschnitt der Buttermuschel.



© Nadine Hallmann

englisch: shell midden) in aller Welt, die gewöhnlich aus Myriaden von Muschelschalen bestehen. Anhand des Sterbedatums der Schalen kann ermittelt werden, zu welcher Jahreszeit oder sogar an welchem Tag innerhalb des Jahres die Tiere gesammelt wurden. Diese Information liefert wichtige Hinweise auf Ernährungsstrategien und saisonale Nutzung von Siedlungsplätzen. Gemeinsame Untersuchungen mit kanadischen Kollegen haben gezeigt, dass prähistorische Bevölkerungsgruppen in der Provinz Britisch-Kolumbien Muscheln ausschließlich im Frühjahr und Herbst sammelten und aßen, jedoch nicht im Sommer. Tatsächlich ist es wenig ratsam, in der warmen Jahreszeit (auf der Nordhemisphäre in den Monaten ohne „r“) Muscheln zu verspeisen. Dann nämlich vermehren sich Algen oft massenhaft. Diese Algen enthalten ein für den Menschen tödliches Nervengift namens Saxitoxin, welches während des Sommers im Gewebe der Muscheln angereichert ist.

Muschelschalen als Präzisionsthermometer der Erde

Schließlich speichern Muscheln die chemischen und physikalischen Bedingungen ihres Lebensraumes auch in Form von Isotopenverhältnissen und Spurenelementen. Diese geochemischen Indikatoren erlauben eine sehr präzise Ermittlung zum Beispiel von Wassertemperaturen oder Schadstoffen im Wasser. Es wird schnell klar, welches ungeheure Potential sich in Verbindung mit den täglichen Zuwachsmustern ergibt: Umweltänderungen können bis auf den Tag genau datiert und Änderungen von Umweltparametern extrem hoch aufgelöst rekonstruiert werden; erstmals werden Paläowetter-Studien möglich.

Sauerstoffisotope gehören zu den am häufigsten genutzten geochemischen Archiven. Mit ihnen lassen sich Temperaturen rekonstruieren. In der Natur kommen drei Isotope des Sauerstoffs vor: ^{16}O , ^{17}O und ^{18}O . Sie unterscheiden sich in der Zahl von Neutronen im Kern und damit im Gewicht. Das leichteste Isotop (^{16}O) kommt mit gut 99,76 Prozent am weitesten häufigsten vor; ^{17}O und ^{18}O sind nur mit 0,04 Prozent und 0,2 Prozent vertreten. Bei der Schalenbildung kommt es nun in Abhängigkeit von der Wassertemperatur zu einer winzigen Verschiebung der relativen Häufigkeiten dieser Isotope. Mit modernen Massenspektrometern sind immerhin die beiden häufigsten Isotope

(^{18}O , ^{16}O) im Schalenmaterial messbar. Bei höheren Temperaturen wird relativ mehr ^{16}O in die Schale eingelagert, bei tieferen Temperaturen relativ mehr ^{18}O . Mithilfe der Sauerstoffisotope konnten wir unter anderem zeigen, dass sich das Bodenwasser der Nordsee – es befindet sich in mehr als 50 Metern Wassertiefe und lässt sich mit instrumentellen Methoden nur schwierig über längere Zeiträume hinweg analysieren – im Verlauf der letzten 120 Jahre um zirka ein Grad Celsius erwärmt hat. Die Sommertemperaturen stiegen dabei deutlich stärker an als die Wintertemperaturen. Der Erwärmungstrend beschleunigte sich darüber hinaus ab zirka 1960 massiv.

Muschelschalen als Monitor des Treibhausgases Kohlendioxid

Ein weiteres Isotopenarchiv informiert über den Anstieg des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre und liefert darüber hinaus ganz nebenbei Belege dafür, dass dieser Zuwachs an CO_2 tatsächlich auf die Nutzung fossiler Brennstoffe durch den Menschen zurückzuführen ist. Kohlenstoff, Bestandteil des CO_2 -Moleküls, kommt in der Natur in Form von drei Isotopen vor: dem radioaktiven Isotop ^{14}C (in Spuren) und den beiden stabilen Isotopen ^{12}C (98,9 %) und ^{13}C (1,1 %). Pflanzen und Phytoplankton neigen dazu, das leichte Isotop (^{12}C) beim Aufbau von Biomasse zu bevorzugen; Pflanzen verwenden dabei den Kohlenstoff des atmosphärischen CO_2 , das Phytoplankton dagegen im Wasser gelöstes CO_2 . Nach dem Tod zersetzen sich Pflanzen und Phytoplankton normalerweise vollständig und der Kohlenstoff wird wieder dem natürlichen Stoffkreislauf zugeführt. Kohle und Erdöl bildeten sich jedoch aus ehemaligen Pflanzen und Algen, welche diesem Schicksal entgangen sind. Wenn wir fossile Energieträger verbrennen, wird CO_2 mit der Signatur der ehemaligen Pflanzen freigesetzt, also CO_2 , welches gegenüber dem vorhandenen CO_2 der Atmosphäre etwas mehr ^{12}C enthält. Die Luft wird damit kohlenstoffisotopisch betrachtet leichter. Außerdem findet ein kontinuierlicher Austausch des CO_2 der Atmosphäre mit dem des Oberflächenwassers statt.

Daher hat die mit der industriellen Revolution gegen Ende des 18. Jahrhunderts einsetzende Nutzung fossiler Brennstoffe nicht bloß in der Atmosphäre deutliche Spuren hinterlassen, sondern auch im Ozean. Da

manche Muscheln immer genau die Kohlenstoffisotopen-Signatur des umgebenden Wassers aufzeichnen, konnten wir mit unseren Untersuchungen an Muschelschalen belegen, dass heute nicht nur in der Atmosphäre sondern auch im Ozean deutlich mehr ^{12}C vorhanden ist als vor 1790. Diese Tatsache wird als Suess-Effekt bezeichnet, benannt nach dem österreichischen Physiker Hans E. Suess (1909-1993), der diesen Einfluss der Industrialisierung auf die Atmosphäre zuerst beschrieb. Zweifelsohne sind daher der Anstieg des Kohlendioxids in Atmosphäre und Ozean sowie der dadurch verursachte globale Temperaturanstieg menschengemacht.

Unsere Analyse von Muscheln des nördlichen Nordatlantik gibt jetzt allerdings Anlass zur Besorgnis. Der Nordatlantik gilt weltweit als größte CO_2 -„Falle“. Seit den 1920er Jahren nimmt er große Mengen an CO_2 auf und verhindert damit bislang ein deutlich stärkeres Ansteigen dieses Treibhausgases in der Atmosphäre. Derzeit schrumpft die CO_2 -Aufnahmekapazität des Nordatlantiks jedoch, was wahrscheinlich mit der oben erwähnten Erwärmung ursächlich zusammenhängt. Denn Gase lösen sich im kalten Wasser bekanntlich erheblich besser als im warmen. Das kann jeder leicht selber überprüfen, indem er eine Flasche mit kohlenstoffhaltigem Mineralwasser erwärmt. Mit steigender Erderwärmung wird es unweigerlich zu einem positiven Rückkopplungseffekt kommen, bei dem die Ozeane, insbesondere der Nordatlantik, CO_2 in die Atmosphäre abgeben, genau so wie die erwärmte Mineralwasserflasche. Das facht die globale Erwärmung weiter an.

Muschelschalen als Schadstoffmesser

Unsere aktuellen Untersuchungen widmen sich Spurenelementen, die sich als Monitore der Wasserqualität verwenden lassen. Sind beispielsweise Blei, Quecksilber oder Cadmium im Wasser vorhanden, werden diese Metalle während des Wachstums der Muscheln in die Schalen eingebaut. Dank des Muschelkalenders, also der Tages- und Jahrringe, kann der Zeitpunkt des Schadstoffeintrags ermittelt werden. Wir arbeiten derzeit an Verfahren, die ehemaligen Schadstoffkonzentrationen im Wasser anhand der Schalen zu rekonstruieren.

■ Summary

Bivalve mollusks provide ultra high-resolution environmental, paleoweather, and paleoclimate archives. Bivalve shells occur in sedimentary rocks as old as 500 million years as well as in archaeological shell middens (kitchen waste deposits). Our team at the University of Mainz conducts basic research to better understand these archives. Such data are necessary to test and verify climate models and enable water quality studies.

Stephen Houk



Univ.-Prof. Dr. Bernd Reinhard Schöne

Bernd R. Schöne, Jahrgang 1969, studierte ab 1990 Geologie/Paläontologie an der Georg-August-Universität in Göttingen, wo er 1997 auch promovierte. Er war anschließend als Postdoktorand des DAAD, der Humboldt-Stiftung und der Japan Society for the Promotion of Science in der Schweiz, den USA und Japan tätig, bevor er ab 2002 eine Emmy-Noether-Forschungsgruppe an der Goethe-Universität in Frankfurt leitete (Habilitation: 2004). Seit September 2006 leitet er die Abteilung für Angewandte und Analytische Paläontologie (Institut für Geowissenschaften) an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Derzeitige Forschungsschwerpunkte: Paläoklima- und Paläowetterforschung sowie retrospektives Umweltmonitoring mittels Sclerochronologie, Katastrophen der Erdgeschichte.

■ Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Bernd Reinhard Schöne
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Angewandte und Analytische Paläontologie,
 Institut für Geowissenschaften, Forschungszentrum
 Erdsystemwissenschaften – Geocycles
 Johann-Joachim-Becher-Weg 21
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 24 757
 Fax +49 (0) 6131-39 24 768
 Email: schoeneb@uni-mainz.de
www.increments.de
www.paleontology.uni-mainz.de

Anpassung – Isolation – Artbildung: Evolution beim Salbei

Von Regine Claßen-Bockhoff

Aktuelle Schätzungen gehen davon aus, dass es weltweit etwa 300.000 Arten von Landpflanzen gibt. Dass sie sich im Laufe der Evolution in ständiger Auseinandersetzung mit ihrer abiotischen und biotischen Umwelt entwickelt haben, ist unbestritten, aber wie Artentstehung funktioniert, ist noch immer unklar. Adaptive Radiationen, das heißt Sippenbildung durch Herausbildung spezifischer Anpassungen, könnten dabei eine besondere Rolle gespielt haben. Das bekannteste Beispiel – daran sei im Darwinjahr 2009 erinnert – liefern die nach dem bedeutenden Evolutionsbiologen benannten Finken der Galapagosinseln.

Die grundsätzliche Frage nach den Bedingungen des Lebens, das heißt nach dem Entstehen und Aussterben von Arten, richtet sich gleichermaßen an die Biodiversitätsforschung und die Evolutionsbiologie. Mit einer Vielzahl unterschiedlicher Methoden, die molekulare Stammbaum- und Populationsanalysen ebenso umfassen wie funktionsmorphologische Experimente und ökologische Geländearbeiten, werden derzeit konkurrierende Artbildungshypothesen getestet. Ziel ist es, die Prozesse der Evolution zu verstehen und mit dem Wissen über die Entstehung von Biodiversität auch zu deren Schutz beizutragen.

Ein besonders interessanter Artbildungsvorgang ist die „adaptive Radiation“, bei der in einem geologisch kurzen Zeitraum zahlreiche neue Arten aus einer Stammart hervorgehen (radiieren). Der Prozess wird durch neu erworbene Eigenschaften beschleunigt, die eine Anpassung (Adaptation) an bislang nicht genutzte ökologische Nischen ermöglichen und damit die Überlebensfähigkeit des Individuums und seiner Nachkommen erhöhen. Welche genetischen und ökologischen Bedingungen ermöglichen eine adaptive Radiation, welche Alternativhypothesen gibt es und wie lässt sich Artbildung durch Anpassung experimentell testen? Um diese Fragen zu beantworten, benötigt man ein artenreiches Modellsystem, dessen Verwandtschaftsverhältnisse bekannt sind und das über eine Struktur oder Eigenschaft mit adaptivem Wert verfügt.

Der Hebelmechanismus der Salbeiblüte – eine Schlüsselstruktur zur Artbildung?

Ein solches Modell liefert die Gattung *Salvia* (Salbei) aus der Familie der Lippenblütler (Lamiaceae). Ihr gehören neben dem heimischen Wiesensalbei (Abb. 1A)



Abb. 1: Die Gattung *Salvia* als Modellsystem.

A: Blütenstand des heimischen Wiesensalbeis (*Salvia pratensis*).

B: Längsschnitt durch eine Blüte des Wiesensalbeis; man beachte die hebelartig umgestalteten Staubblätter (sl), deren Pollensäcke (a) vor dem Griffel (s) unter der Oberlippe der Blüte liegen und deren sterile Enden (sc) den Zugang zum Nektar (n) versperren.

C: Die Ackerhummel, *Bombus pascuorum*, bei der Bestäubung von *Salvia macrosiphon*. Foto: A. Groß.

und den aus dem Mittelmeerraum stammenden Arzneisalbei und Muskatellersalbei weltweit etwa 1.000 Arten an. Die meisten Arten zeichnen sich durch einen speziellen Bestäubungsmechanismus aus, der allgemein als Schlagbaummechanismus oder Hebelmechanismus bekannt ist. Die monosymmetrische Blüte verbirgt unter ihrer Oberlippe die Pollensäcke und Narben, während die Unterlippe den bestäubenden Bienen als Landeplatz dient (Abb. 1B). Die beiden Staubblätter der Blüte sind zu hebelartigen Strukturen umgebildet, deren obere Enden je zwei Pollensäcke tragen, während die unteren Enden den Weg zum Nektar versperren. Ein Blüten besuchendes Insekt muss nun unter Kraftaufwendung die Barriere zurückschieben, wodurch sich die Pollensäcke auf den Kopf oder Rücken des Bestäubers absenken (Abb. 1C). Beim Besuch einer weiteren Blüte, kann der Pollen an deren Narbe abgestreift werden und zur Befruchtung führen.

Der Hebelmechanismus und die mit ihm verbundene Veränderungen der Staubblattkonstruktion galten bis vor kurzem als morphologische Indizien für die natürliche Verwandtschaft aller Salbeiarten. Erst molekulare Daten wiesen darauf hin, dass die Gattung *Salvia* wahrscheinlich nicht monophyletisch ist, also auf nur eine einzige Ursprungsart zurückgeführt wer-

den kann, sondern drei unterschiedliche Ursprünge haben könnte (polyphyletisch).¹ So erstaunlich die mehrfache Bildung des Hebelmechanismus auch sein mag, so zeigt doch die konvergente Entwicklung eines ähnlichen Bestäubungsmechanismus in einer weit entfernten, australischen Verwandten des Salbeis,² dass hebelartige Staubblätter nicht exklusiv für *Salvia* sind. Vielmehr diente mehrfach unabhängig voneinander eine durch die Lippenblütenkonstruktion bedingte Staubblattveränderung als Ausgangspunkt für die Bildung der Hebelkonstruktion. Die parallele Entstehung des Hebelmechanismus unterstreicht die offensichtlich adaptive Bedeutung des Bestäubungsmechanismus. Da auch bei einem polyphyletischen Ursprung von *Salvia* die drei vermuteten Abstammungslinien jeweils erheblich mehr Arten umfassen als die jeweils nächst verwandte Gruppe (Schwestergruppe), liegt der Gedanke nahe, dass der Schlagbaummechanismus eine Schlüsselstruktur für die erhöhte Artbildungsrate sein könnte.

Die adaptive Bedeutung des Hebelmechanismus bei bienenblütigen Arten

Artbildung kann nur erfolgen, wenn der Genfluss zwischen den Individuen einer Ausgangspopulation unterbrochen wird. Am Beispiel der bienenbestäubten Salbeiarten wollen wir zunächst die Hypothese testen, inwiefern es tatsächlich die hebelartigen Staubblätter sein könnten, die zur reproduktiven Isolation beitragen. Da zur Auslösung des Hebelmechanismus von den Bienen physische Kraft verlangt wird, könnte die Leicht- oder Schwergängigkeit der Hebelbewegung einen Einfluss auf das Bestäuberspektrum nehmen. So stellt sich beispielsweise die Frage, ob zu schwache Bienen vom Nektargenuss und damit vom Bestäubungsgeschehen ausgeschlossen werden. Mithilfe eines speziellen Messgerätes, das in Kooperation mit der mechanischen Werkstatt der Universität Freiburg konstruiert wurde,³ konnten Kraftmessungen am Staubblatthebel verschiedener Salbeiarten durchgeführt werden (Abb. 2A-C). Die Ergebnisse waren überraschend, da die durchschnittlich verlangten Kräfte der Blüten mit maximal 20 Millinewton deutlich unter den Kräften liegen, die Bienen und Hummeln aufbringen können, und damit offensichtlich kein nennenswertes Hindernis für unterschiedlich große Bienen darstellen. Der Hebelmechanismus ist also kein Instrument zur Spezialisierung auf bestimmte Bestäuber; dennoch ist ein erheblicher Vorteil für die Pflanze mit dessen Leichtgängigkeit verbunden. Der Hebelmechanismus lässt nicht nur alle angelockten Insekten als Bestäuber zu, sondern kompensiert sogar noch unterschiedliche Körpergrößen durch das differentielle Absinken des Hebels. Begleitende Untersuchungen im Gelände bestätigten, dass allein der Wiesensalbei an natürlichen Standorten von 14 verschiedenen Bienenarten bestäubt wird, darunter überwiegend Hummeln und Honigbienen, aber auch kleine Solitärbiene.

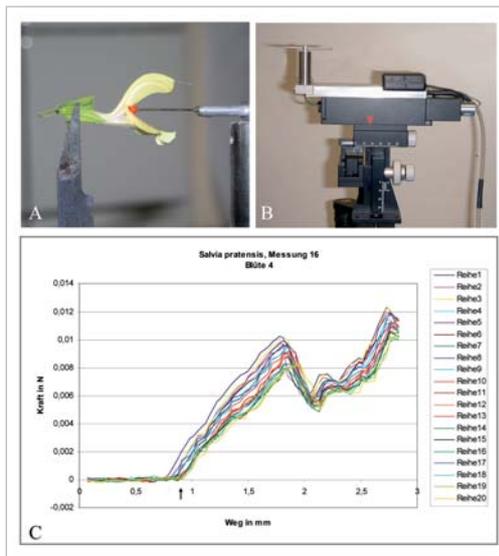


Abb. 2: Kraftmessungen am Staubblatthebel von Salbei Blüten.

A: Mittels eines Messfühlers wird die Auslösung des Hebelmechanismus beim klebrigen Salbei (*Salvia glutinosa*) simuliert.

B: Der Messfühler ist mit dem eigens für diese Messungen konstruierten Kraftmessgerät verbunden. Die Kraft, mit der der Messfühler die unteren Hebelarme bewegt, wird auf einen hoch empfindlichen Biegebalken übertragen und unter Verwendung eines speziellen Computerprogramms als Kraft-Weg-Kurve dargestellt.

C: Kraft-Weg-Kurve einer zwanzigmal hintereinander ausgelösten Blüte des Wiesensalbeis. Der Pfeil zeigt den Beginn der Hebelbewegung an, die Spitze der Kurve den Moment der Auslösung, an dem keine weitere Kraft mehr aufgewandt werden muss (der zweite Gipfel entsteht bei fortgesetzter Messung durch das Anstoßen des Messfühlers an die Blütenwand).

Die Nutzung vieler Insekten als potentielle Bestäuber ist von Vorteil, um an gestörten Standorten zu überleben oder sich an neuen Standorten zu etablieren. Sie birgt aber auch die Gefahr der Fehlbestäubung, da die lokal auftretenden Bienenarten mehrere Salbeiarten nacheinander besuchen und deren Pollen gleichzeitig an ihrem Körper tragen können. Nun kommt erneut der Hebelmechanismus ins Spiel. Bedingt durch die artspezifisch verschiedene Länge der Hebelarme wird der Pollen jeder Salbeiart an einem spezifischen Ort auf dem Bienenkörper abgelegt. Eine Hummel kann somit mehrere gleichzeitig blühende Salbeiarten bestäuben (Abb. 3), ohne dass es zu einer Pollenvermischung kommt – es liegt „mechanische Isolation“ vor. Der Hebelmechanismus kann damit, sofern seine Maße konstant und die Blüten der jeweiligen Artengemeinschaft unterschiedlich proportioniert sind, Hybridisierung verhindern und zur Arterhaltung beitragen. Ebenso kann er aber auch bei ähnlicher Länge der Hebelarme zur Hybridbildung zwischen nah verwandten Arten beitragen, einem Prozess, der zwar meist nachteilig ist, unter bestimmten Bedingungen aber auch zu stabilen neuen Arten führt. Schließlich ist denkbar, dass sich aus einer Population mit variabler Hebellänge Teilgruppen von Nachkommen bilden, die sich in ihrer Hebellänge deutlich voneinander unterscheiden. Wird der Pollen dann weit entfernt voneinander auf dem gemeinsamen Bestäuber abgelegt, führt die mechanische Isolation zur Unterbrechung des Genflusses und zur Artbildung.

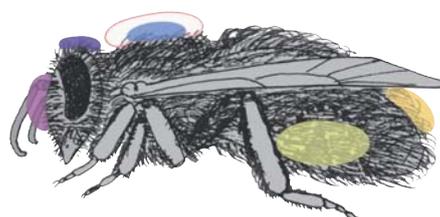


Abb. 3: Differentielle Pollenübertragung von sechs Salbeiarten auf dem Körper einer Hummelarbeiterin. Rosa, *Salvia verticillata*; lila, *S. nemorosa*; blau, *S. pratensis*; orange, *S. aethiops*; dunkelgelb, *S. glutinosa*; hellgelb, *S. austriaca*.

Obgleich das Vorliegen von mechanischer Isolation zwischen gemeinsam blühenden Salbeiarten verschiedentlich gezeigt worden ist, fehlt derzeit noch der experimentelle Nachweis der Artbildung durch den Hebelmechanismus. Die genannten Arbeitshypothesen müssen mittels Freilanduntersuchungen und unter Einbeziehung standortökologischer Daten sowie phylogenetischer Verwandtschaftsanalysen getestet und statistisch untermauert werden.

Neben den bereits genannten adaptiven Vorteilen trägt der Hebelmechanismus auch zur allgemeinen Verbesserung des Fortpflanzungssystems bei. Experimente haben gezeigt, dass die etwa 1.500 Pollenkörner einer Blüte in acht bis zwölf Portionen abgegeben werden. Durch die wiederholte Auslösung des Hebelmechanismus (Abb. 2C) wird der Pollen auf verschiedene Bestäubertiere verteilt, die ihn dann zu verschiedenen Empfängerblüten transportieren. Dadurch wird die genetische Diversität der Nachkommenschaft erhöht und der Zeitraum der Pollenübertragung verlängert.

Die Pollenportionierung und die mit ihr verbundene Platzierung des Pollens auf dem Rücken der Bienen hat aber noch eine andere Konsequenz. Die von Bienen bestäubten Salbeiarten unterliegen einem Konflikt, der als „Pollen Dilemma“ bekannt ist. Bienen nutzen Pollen als Futter für ihre Brut und sind daher äußerst emsige und blütenstete Bestäuber. Das ist von Vorteil für die Pflanze, deren Pollen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Blüte der gleichen Art übertragen wird. Andererseits sammeln die Bienen mithilfe spezieller Sammelapparate so effizient Pollen, dass die Reproduktion der Pflanze in Gefahr ist.⁴ Im Pollenkorn befinden sich die männlichen Spermakerne, die zur sexuellen Reproduktion der Pflanze auf die Narbe einer Empfängerblüte übertragen werden müssen. Jeder für die Bienenbrut verwendete Pollen ist somit für die pflanzliche Reproduktion verloren. Das Dilemma wird dadurch vergrößert, dass der Pollen proteinreich und damit für die Pflanze teuer ist. Er kann auch nicht, wie etwa Nektar, nachproduziert werden. So ist verständlich, dass sich innerhalb der Bienenblumen neben Einrichtungen zur Anlockung von Bienen auch Anpassungen gegen das unmäßige Pollensammeln der Bienen entwickelt haben. Eine erste Möglichkeit besteht darin, die Bienen mit Nektar vom Pollensammeln abzulenken, eine zweite, den Pollen vor dem Zugriff der Bienen zu verstecken. Beide Lösungswege sind beim Salbei realisiert: durch die Konstruktion der Lippenblüte wird die Biene in eine bestimmte Position gezwungen, die ihr den Zugang zum Nektar ermöglicht; dabei löst sie den Hebelmechanismus aus, wodurch sie auf ihrer Rückenseite mit Pollen eingestäubt wird, an einer Stelle also, die sie beim Putzen nur schlecht erreicht. Der Hebelmechanismus ist also auch eine Möglichkeit, Pollen zu sparen, und die Konstruktion der Salbeiblüte ein offensichtlich gelungener Kompromiss einer Bienenblume, das „Pollen Dilemma“ zu reduzieren.

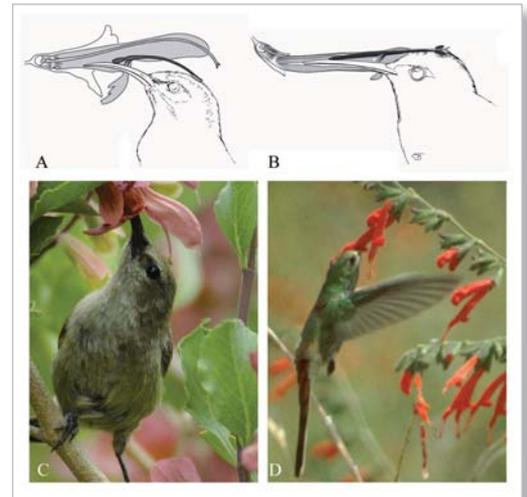


Abb. 4: Blütenkonstruktionen bei vogelblütigen Salbeiarten.

A, C: Lippenblume mit funktionierendem Hebelmechanismus: *Nectarinia chalybea* an *Salvia lanceolata* (Südafrika). Foto: R. Groneberg.

B, D: Röhrenblüte mit herausragenden Reproduktionsorganen: *Sappho sparganura* an *Salvia haenkei* (Bolivien). Foto: P. Wester.

Reduktion des Hebelmechanismus bei vogelblütigen Arten

Eine noch bessere Lösung, Pollenverlust zu vermeiden, ist der Wechsel von der Bienen- zur Vogelblütigkeit. Im Gegensatz zu Bienen sammeln Vögel keinen Pollen, sind das ganze Jahr über verfügbar und überbrücken weite Distanzen. Innerhalb von *Salvia* ist der Übergang von der Bienen- zur Vogelblütigkeit mindestens zehnmal parallel erfolgt, was sowohl durch die molekularen Daten der Stammbaumanalyse als auch durch ganz unterschiedliche morphologische Anpassungen an die Vögel belegt ist. Letztere betreffen die Blütenfarbe, die Größe und Form der Blüten und interessanterweise auch die Hebelkonstruktion und den damit verbundenen Bestäubungsmechanismus.⁵ Von den 185 vogelbestäubten Salbeiarten haben knapp 100 Arten die Lippenblütenkonstruktion und den funktionierenden Hebelmechanismus ihrer bienenblütigen Vorfahren beibehalten (Abb. 4A). Sie schließen die Bienen vor allem durch ihre langen Blütenröhren aus, die die Länge der Mundwerkzeuge übertrifft und damit den Bienen die Möglichkeit nimmt, an den Nektar zu gelangen. Die übrigen Arten weisen enge Röhrenblüten mit herausragenden Pollensäcken und Griffeln auf (Abb. 4B). Diese Umgestaltung geht mit einem Verlust des Hebelmechanismus einher, der offensichtlich nicht mehr nötig ist. Die enge Röhre zwingt den Kolibri, seinen Schnabel gerade in die Blüte einzuführen, wobei er auf dem Schnabel oder Kopf eingestäubt wird. Je länger die oberen Hebelarme sind, umso eher wird das Federkleid des Vogels erreicht, das einen besseren Pollentransport gewährleistet als der glatte Schnabel. Hier vermuten

wir also einen Selektionsdruck, der zur Verlängerung des oberen Hebelarms führt. Wie bei den Bienenblumen kann es dabei auch zur mechanischen Isolation und Artbildung kommen. Die Hebelkonstruktion der Staubblätter bleibt bei dem Blütentyp mit herausragenden Pollensäcken und Narben zwar teilweise erhalten, wird aber unwirksam, weil in der engen Blüte kein Platz mehr für die Hebelauslösung vorhanden ist. Andere Arten haben sie durch Versteifung des Hebelgelenks oder durch Reduktion des unteren Hebelastes gänzlich verloren.

Der kurze Streifzug durch die Biologie der Salbeiblüten führt zu dem vorläufigen Ergebnis, dass dem Hebelmechanismus ein hoher adaptiver Wert zukommt. Inwiefern er direkte artbildende Wirkung hat, muss noch überprüft werden. Sicher ist jedoch, dass er an einer allgemeinen Verbesserung des Fortpflanzungssystems beteiligt ist. Weiterhin ist seine Bedeutung für die Bienenblumen deutlich höher als für die Vogelblumen, die ihn mehrfach reduziert haben. Der Hebelmechanismus zeigt damit, dass auch hoch abgeleitete, adaptive Strukturen der Selektion unterliegen und wieder reduziert werden können, wenn sich die Umwelt ändert.

■ Summary

Adaptive radiations are actually in the focus of evolutionary biologists to understand the genetic and ecological constraints forcing speciation. *Salvia* is a suitable model as it is rich in species and characterised by the well-known lever mechanism mediating pollen transfer. The first data of our project at the Institut für Spezielle Botanik indicates that the lever mechanism might well be a key innovation for speciation but that it also contributes to pollen saving and optimising the plants' mating system.



Univ.-Prof. Dr. Regine Claßen-Bockhoff

Regine Claßen-Bockhoff, Jahrgang 1954, studierte Biologie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und promovierte dort 1984 bei Prof. Dr. H. A. Froebe (Stipendium der Friedrich Naumann Stiftung). 1985 führte sie ein sechsmonatiges Forschungsprojekt in Südost-Asien und Australien durch (DFG-Stipendium); von 1985 bis 1990 war sie als wissenschaftliche Angestellte am Botanischen Institut der RWTH Aachen tätig. Nach der Geburt ihrer Tochter (1990) arbeitete sie als freie Wissenschaftlerin und habilitierte sich 1994 extern an der RWTH Aachen (DFG-Habilitationsstipendium). 1998 folgte sie dem Ruf auf eine C3-Professur am Institut für Spezielle Botanik der Universität Mainz. Ihre Forschungsschwerpunkte sind evolutionsbiologisch ausgerichtet und liegen im Bereich der Entwicklungs- und Funktionsmorphologie der Pflanzen sowie der experimentellen Blütenökologie mit Projekten im In- und Ausland.

■ Kontakt

Univ.-Prof. Dr. Regine Claßen-Bockhoff
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Institut für Spezielle Botanik
Anselm-Franz-von-Bentzel-Weg 2
D-55128 Mainz
Tel. +49 (0) 6131-39 24 103
Fax +49 (0) 6131-39 23 524
Email: classenb@uni-mainz.de
http://www.spezbot.fb10.uni-mainz.de/home_d/pages/agleiter_classenb.htm

Literatur

1. Walker JB, Sytsma KJ, Treutlein J, Wink M. *Salvia* (Lamiaceae) is not monophyletic: implications for the systematics, radiation, and ecological specializations of *Salvia* and tribe Mentheae. *American Journal of Botany* 2004; 91: 1115-1125.
2. Guerin G. Floral biology of *Hemigenia* and *Microcorys* (Lamiaceae). *Australian Journal of Botany* 2005; 53: 147-162.
3. Speck T, Rowe N, Civeyrel L, Claßen-Bockhoff R, Neinhuis C, Spatz HC. The potential of plant biomechanics in functional biology and systematics. In: Stuessy TF, Mayer V, Hörandl E (eds.). *Deep Morphology. Toward a Renaissance of Morphology in Plant Systematics*. Koeltz Scientific Books 2003. Königstein, Germany: pp. 241–271.
4. Westerkamp C, Claßen-Bockhoff R. Bilabiate blossoms – the ultimate response to bees? *Annals of Botany* 2007; 100: 361-374.
5. Wester P, Claßen-Bockhoff R. Floral diversity and pollen transfer in bird-pollinated *Salvia* species. *Annals of Botany* 2007; 100: 401-421.

Auftragskomposition für den Neubau der Hochschule für Musik

Von Carolin Lauer und Kristina Pfarr

Am 24. November 2008 wurde der Neubau der Hochschule für Musik auf dem Campus der Johannes Gutenberg-Universität mit der Uraufführung des Werkes „Sechs Trakl Gesänge für Tenor, Chor und Orchester“ von Thomas Wells eingeweiht. Unter dem Dirigat von Univ.-Prof. Wolfram Koloseus musizierten der Solist Univ.-Prof. Thomas Dewald (Tenor), das Orchester der Hochschule für Musik und das chorische Ensemble Camerata vocale Mainz (Einstudierung: Danilo Tepša).

Im Jahr 2006 war der U.S.-amerikanische Komponist Thomas Wells beauftragt worden, ein zirka 30-minütiges Werk für Gesang und Orchester zur Einweihung des Neubaus zu komponieren. Als Meilenstein eines komplexen Entwicklungsprozesses der Bläserabteilung sollte die Komposition in besonderer Weise den Einsatz von Blech- und Holzblasinstrumenten vorsehen. Den Auftrag vergab die Hochschule für Musik im Rahmen eines künstlerischen Entwicklungsprojekts, das durch den Forschungsfonds der Johannes Gutenberg-Universität und die „Freunde der Universität Mainz e.V.“ unterstützt wurde.

Thomas Wells ist Professor für Komposition und Direktor der Sound Synthesis Studios an der Ohio State University in Columbus, Ohio. Er studierte unter anderem bei Kent Hennen, Hunter Johnson und Karlheinz Stockhausen. Seine Werke werden weltweit aufgeführt, in den letzten Jahren beispielsweise in China, Japan, Australien, Kuba, Brasilien, Südkorea, Portugal, den Niederlanden und Serbien. Sein Œuvre ist weit gespannt und reicht von Konzerten, Ouvertüren und Kammermusik bis zu Elektroakustischer Musik. Zugleich ist Thomas Wells Präsident der Society of Composers Inc., der größten Vereinigung von Komponistinnen und Komponisten in den USA. Der Uraufführung der „Sechs Trakl Gesänge“ ging ein mehrwöchiger Gastaufenthalt des Komponisten an der Hochschule für Musik voraus. In diesem Rahmen begleitete Thomas Wells die Register- und Endproben und nahm in Absprache mit dem musikalischen Leiter des Projekts, Univ.-Prof. Wolfram Koloseus, und den Instrumentallehrern abschließende Anpassungen vor, insbesondere im Hinblick auf den Chorspart, wie der Komponist selbst erläutert: „Bei der Komposition des Werkes ging ich von einem größeren Chor aus als er dann in der Hochschule für Musik zur Verfügung stand. Für die Realisation der Aufführung musste ich daher Änderungen vornehmen [...] Es erscheint für einen Komponisten undenkbar, bei der Einstudierung

und Aufführung eines neuen Werkes kompromisslos jede Veränderung abzulehnen.“

Durch diese enge Zusammenarbeit, die auf Initiative von Univ.-Prof. Dejan Gavric zustande kam, ergab sich die im Kunstbetrieb seltene Gelegenheit, vom Komponisten selbst Einblicke in das Werk und in dessen Entstehungsprozess zu erhalten. Damit wurden wichtige Impulse zur Interpretation und zum Verständnis des Werkes gewonnen; gleichzeitig blieb die notwendige ästhetische Offenheit vollständig gewahrt.

Es wurde deutlich, dass der Anlass – die Einweihung des lang ersehnten Neubaus – für den Komponisten bei der musikalischen Konzeption eine zentrale Rolle spielte: „Mein Werk ist für die Einweihung und die Eröffnung des Neubaus der Hochschule für Musik komponiert. Und so stehen die Sechs Trakl Gesänge wie der Neubau selbst im Zeichen der Hoffnung und des Glaubens in unsere Zukunft.“

Hinsichtlich der Faktur der Komposition verweist Wells auf seine in den letzten Jahren entwickelte musikalische Sprache, die eine durchaus traditionelle Stimmführung mit Elementen der Spektralmusik und harmonischen Interpolationen kombiniert; letztere arbeitet er mittels OpenMusic-Software aus. Der hier erwähnte gelegentliche Einbezug von Obertonbasierten Effekten (Spektralmusik) darf sicherlich als diskreter Hinweis auf eine Traditionslinie verstanden werden, die den Klang zu einem der wichtigsten Parameter im musikalischen Geschehen erklärt. Die Auswahl von sechs Gedichten von Georg Trakl (1887-1914) – „Sommersonate“, „Beim jungen Wein“, „So leise läuten“, „Farbiger Herbst“, „Wintergang in a-Moll“ und „Frühling der Seele“ – als Textgrundlage mag zunächst wie ein unlösbarer Widerspruch zu der intendierten positiv-optimistischen Grundstimmung des Werkes erscheinen, gilt doch die frühexpressionistische, dunkle Bilderwelt des österreichischen Lyrikers als hermetisch. Das hat auch der Komponist, vertraut mit den Trakl-Vertonungen Anton Weberns, so gesehen: „Zunächst habe ich einen Gegensatz zwischen dem besonderen Ton Trakls – insbesondere dem Ausdruck von Hoffnungslosigkeit und Einsamkeit der menschlichen Existenz – und meiner eigenen musikalischen Sprache empfunden.“ Die Verbindung zwischen der intendierten Grundstimmung der Musik und den Gedichten Trakls findet der Komponist im unverwechselbaren Ton des Dichters, der von der symbolistischen und impressionistischen Sprache bis zur expressionistischen Ausdruckskraft reicht. Melan-



Autograph: Thomas Wells, Auszug aus: Sechs Trakl Gesänge für Tenor, Chor und Orchester (Uraufführung 2008).



© Peter Thomas

Neubau der Hochschule für Musik auf dem Campus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

cholie, Auflehnung und höchste Lyrizität sind den ausgewählten Gedichten eigen: „Aus den Texten spricht für mich eine Vielzahl von Stimmen und Stimmungen in kraftvollen und dramatischen Kontrasten, die eine Vertonung nahelegen. Schließlich fand ich sechs Gedichte, die meiner Vorstellung vom Ausdruck meines Werkes entsprachen und die in einer inneren Verbindung zueinander und zu meinem Kompositionsvorhaben standen: Zwei Gedichte haben musikalische Titel, vier Gedichte thematisieren den Lauf der Jahreszeiten und ein Gedicht erinnert mich an die Stimmung im Rheingau.“

In der Musikwelt halten sich manche Klischees sehr hartnäckig: Eines davon ist sicher das Ausspielen eines romantisierenden Künstlertypus gegen den kommerzialisierten Auftragskomponisten. Während der eine, ohne äußere Zwänge und nur seinem „künstlerischen Drang“ verpflichtet, im Schaffensrausch komponiert, begibt sich der Auftragskomponist in eine finanzielle Abhängigkeit von einem Auftraggeber, der im Einzelfall seinen Einfluss bis in wichtige Strukturfragen des

Werkes hinein geltend macht. Auftragskompositionen scheint ein gewisser Haut Goût anzuhaften. Wenn dieser berechtigt wäre, müsste die Musikgeschichte wohl neu geschrieben werden. Schlüsselwerke wie Monteverdis „L'Orfeo“ (1607), Haydns „Sieben Worte unseres Erlösers am Kreuze“ (1785 bzw. 1796), Mozarts „Zauberflöte“ (1791) sind Auftragskompositionen. Und dies waren keine Ausnahmen: Höfische, kirchliche oder privatwirtschaftliche Werkaufträge waren bis Anfang des 19. Jahrhunderts die Regel. Erst mit der Romantik – sieht man von frühen „Popstars“ des Musikgeschäfts wie Georg Friedrich Händel einmal ab – tritt der künstlerisch und kommerziell auf eigene Rechnung handelnde Komponist auf den Plan und bestimmt fortan unser Bild des Komponisten. Dabei gab es weiterhin Kompositionsaufträge, deren Intentionen sehr unterschiedlich waren und sich vielfach ergänzten. Hier sind zuerst anlassbezogene Produktionen wie beispielsweise Giuseppe Verdis „Aida“ zur Eröffnung des Suezkanals 1871, Benjamin Brittens „War Requiem“ zur Wiedereröffnung der im Zweiten Weltkrieg zerstörten St. Michael's Cathedral

Thomas Wells (Mitte) dankt den Interpreten; links der Dirigent Wolfram Koloseus, rechts der Solist Thomas Dewald.



© Dejan Gavrić

von Coventry (1962) oder „Quid es Deus“ für Chor und Orchester von Wolfgang Rihm zum 550-jährigen Jubiläum der Universität Freiburg 2007 zu nennen. In den letzten Jahrzehnten treten außerdem Aufträge anlässlich von Festivals oder im Zusammenhang mit Rundfunkproduktionen in den Vordergrund, die gleichermaßen auf die Förderung von Musikern und Komponisten zielen und damit eine gleichsam kulturpädagogische Funktion erfüllen.

Festanstalten hat auch die Stadt Mainz mit der Vergabe von Kompositionsaufträgen verbunden: Zur Einweihung des Gutenberg-Denkmal hatte Carl Loewe das Oratorium „Gutenberg“ geschrieben, das am 14. August 1837 im Mainzer Theater uraufgeführt wurde. Zur Feier des Gutenberg-Jahres 2000 wurden gleich mehrere Kompositionsaufträge vergeben: Die Oper „G“ von Gavin Bryars entstand im Auftrag des Staatstheaters Mainz, Kompositionsaufträge der Stadt Mainz erhielten unter anderen Peter Eötvös, Peter Knodt und Georg Birner.

Auch die Hochschule für Musik hat bereits mehrere Kompositionen initiiert. Im Mittelpunkt der zweiten Internationalen Sommerschule im Jahr 2005 stand die Erarbeitung der Oper „Idilia“, die Mark Moebius komponiert hatte. Die Vergabe des Kompositionsauftrags und die Uraufführung des Werkes in der Festung Ehrenbreitstein fanden in Kooperation mit dem UNESCO Welterbe „Oberes Mittelrheintal“ statt. Ein Jahr später stand die Uraufführung von „Kein Ort. Nirgends“ von Anno Schreier (nach der Erzählung von Christa Wolf) auf dem Programm der Internationalen Sommerschule Singing Summer. Ziel dieser Produktionen war die Integration von Alter und Zeitgenössischer Musik in das Programm der Sommerschule, zugleich sollten junge Komponisten gefördert werden. Singing Summer bot allen Beteiligten – Komponisten, Kursteilnehmerinnen und -teilnehmern sowie Mentorinnen und Mentoren – die Möglichkeit der gemeinsamen künstlerischen Arbeit.

Mit den „Sechs Trakt Gesängen“ von Thomas Wells beging die Hochschule für Musik einerseits das singuläre Ereignis der Einweihung ihres Neubaus; andererseits steht der Auftrag im Kontext hochschulinterner Weiterentwicklung von Studium und Lehre und stellt darüber hinaus einen Beitrag zur Entwicklung der Zeitgenössischen Musik dar. So resümiert der Komponist selbst: „Für meine Sechs Trakt Gesänge war die Wahl der Textgrundlage sehr wichtig, bestimmen die Gedichte doch den Ton des Werkes. Ich wollte eine Dichtung auswählen, die mich inspirierte und eine Verbindung zu Mainz schafft. Zugleich wollte ich auch etwas über meine Erfahrungen in dieser Stadt ausdrücken. Da das Werk zur Eröffnung des Neubaus der Hochschule für Musik komponiert wurde, sollte es auch den Optimismus und die Zukunftsfreude aller Musikerinnen und Musiker ausstrahlen, die die neue Hochschule betreten.“

Die Autorinnen danken Nora Gundlach für Rechercharbeiten.

Summary

In November 2008 the new building of the School of Music on the campus of Johannes Gutenberg University Mainz was inaugurated with the premiere of "Sechs Trakt-Gesänge" by the U.S.-American composer Thomas Wells. This composition was commissioned by the School of Music within an artistic development project which aims at the promotion of musicians and at the same time fulfills the task of culture mediation. The project is sponsored by the research fund of Mainz University and the Friends of Mainz University Society.



© Dejan Gavric

Komponist und Solist nach der Uraufführung am 24. November 2008.



Privat

Dr. Carolin Lauer

Carolin Lauer, geb. 1972, studierte Evangelische Theologie und Deutsche Philologie. Sie ist Geschäftsführerin der Hochschule für Musik und gemeinsam mit Dr. Kristina Pfarr Geschäftsführerin der Internationalen Sommerschule Singing Summer.



Privat

Dr. Kristina Pfarr

Kristina Pfarr, geb. 1959, studierte Publizistik, Musikwissenschaft und Buchwesen. Sie ist Leiterin der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, stellvertretende Geschäftsführerin der Hochschule für Musik und gemeinsam mit

Dr. Carolin Lauer Geschäftsführerin der Internationalen Sommerschule Singing Summer.

Kontakt

Dr. Kristina Pfarr
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz
 Hochschule für Musik
 Jakob-Welder-Weg 28
 D-55128 Mainz
 Tel. +49 (0) 6131-39 28 008
 Fax +49 (0) 6131-39 28 012
 Email: pfarr@uni-mainz.de
<http://www.musik.uni-mainz.de>



*Blutspenden rettet Leben.
Vielleicht auch Ihres.*

Wo?

Klinikum der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
Transfusionszentrale,
Hochhaus Augustusplatz

Information

Telefon 0 61 31/17-32 16 / 32 17

Termine

Mo, Mi 8.00 bis 16.00

Di, Do 8.00 bis 18.00

Fr 8.00 bis 15.00

Sa 8.00 bis 11.00