

AUSGABE 23 | 2017

JUNGE
AKADEMIE
 MAGAZIN

DOSSIER

Hochleistung – präziser, schneller, weiter

KOMMENTAR

Impact! Auf Kollisionskurs mit Zitationsparametern

PROJEKTE

Der Kurzfilmwettbewerb „be a better being“

JUNGE AKADEMIE MAGAZIN

Das Junge Akademie Magazin wird von Mitgliedern der Jungen Akademie konzipiert. Es bietet Einblicke in Projekte und Veranstaltungen der Jungen Akademie, berichtet über Mitglieder und Publikationen und mischt sich in aktuelle wissenschaftliche und wissenschaftspolitische Debatten ein.

DIE JUNGE AKADEMIE

Die Junge Akademie wurde im Jahr 2000 als gemeinsames Projekt der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina gegründet. Sie ist weltweit die erste Akademie des wissenschaftlichen Nachwuchses. Die Junge Akademie wird gemeinsam von BBAW und Leopoldina getragen. Seit 2011 ist sie administrativ dauerhaft im Haushalt der Leopoldina verankert und wird finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie den Ländern Berlin, Brandenburg und Sachsen-Anhalt. Ihre fünfzig Mitglieder, Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus dem deutschsprachigen Raum, widmen sich dem interdisziplinären Diskurs und engagieren sich an den Schnittstellen von Wissenschaft und Gesellschaft.

EDITORIAL

Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn schreitet mit atemraubender Geschwindigkeit voran. Unser Wissen wächst exponentiell und verdoppelt sich schätzungsweise alle fünf bis zehn Jahre. Was gestern unmöglich schien, ist heute schon technische Realität. Noch nie konnten wir so tief in den Kosmos blicken, genetische Information präziser und einfacher manipulieren, Daten schneller verarbeiten und austauschen.

In dieser Ausgabe des Jungen Akademie Magazins entführen wir Sie in die Welt der wissenschaftlichen Hochleistung, in der unsere Mitglieder die Technik von morgen mitgestalten. Mit Hilfe hochauflösender Mikroskopie gewinnt die Biophysikerin Ulrike Endesfelder spektakuläre Einblicke in lebende Zellen. Der Informatiker Dirk Pflüger erzählt von der Herausforderung, aus Hunderttausenden von Prozessoren einen funktionierenden Supercomputer aufzubauen. Wie solche Hochleistungsrechner eingesetzt werden können, um die atomaren Bewegungen von Proteinen zu simulieren, aber auch die Struktur des Universums abzubilden, schildern die Bioinformatikerin Bettina Keller und der Kosmologe Fabian Schmidt. Über die Zukunft der Wettervorhersage unterhalten sich die Atmosphärenforscherin Bernadette Weinzierl und die Musikwissenschaftlerin Miriam Akkermann.

Aber Hochleistung hat auch ihre Schattenseiten. Im Filmwettbewerb der Jungen Akademie „be a better being“ beschäftigten sich viele Beiträge mit dem Drang und dem Zwang zur ständigen Selbstopтимierung in Wissenschaft und Gesellschaft. Mittlerweile wächst der Druck, die Leistung einzelner Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu quantifizieren, wie Nachwuchswissenschaftler mit dieser Entwicklung umgehen sollten, ist das Thema unseres Kommentars.

Viel Vergnügen mit dieser Ausgabe des Jungen Akademie Magazins. An der nächsten Ausgabe arbeiten wir bereits mit Hochdruck!

Tobi J. Erb



Hochleistungsrechner der Universität Stuttgart

IMPRESSUM

Herausgeberschaft

Die Junge Akademie (JA)
an der
Berlin-Brandenburgischen
Akademie der Wissenschaften
und der Deutschen Akademie
der Naturforscher Leopoldina

Redaktionsteam der JA

Tobias J. Erb (verantwortlich)
Miriam Akkermann
Caspar Battegay
Jennifer Girrbach-Noe
Diana Göhringer
Katharina Heyden
Lisa Kaltenegger
Florian Meinel
Fabian Schmidt
Jule Specht
Kai Wiegandt

Beiträge aus der JA

Miriam Akkermann
Thomas Böttcher
Ulrike Endesfelder
Tobias J. Erb
Katharina Heyden
Philipp Kanske
Bettina Keller
Jonas Peters
Dirk Pflüger
Fabian Schmidt
Bernadett Weinzierl
Kai Wiegandt

Weitere Beiträge

Deidre Rath
Leonhard Scheck
Beate Wagner

Text und Koordination

Tobias J. Erb, JA-Mitglied
Dirk Liesemer,
freier Textchef
Deidre Rath,
studentische Hilfskraft/
Projektmanagement
Anne-Maria Stresing,
JA-Geschäftsstelle

Titelbild

David Virant, AG Endesfelder,
Kooperationsprojekt mit
AG Rothbauer, Tübingen

Gestaltung

Wiebke Genzmer

Druck

Medialis Offsetdruck GmbH

Auflage

1.500 Exemplare

Februar 2017

© Die Junge Akademie

ISSN 1863-0367

www.diejungeakademie.de

INHALT

1 EDITORIAL

2 IMPRESSUM

Dossier	HOCHLEISTUNG – PRÄZISER, SCHNELLER, WEITER
4	THEMEN UND AUTOREN
6	„WIR KÖNNEN LIVE BEOBACHTEN, WIE GENETISCHE CODES KOPIERT WERDEN“
14	SCHNELLER ALS EIN WANDERFALKE
16	93 000 000 000 000 000 RECHENOPERATIONEN PRO SEKUNDE
18	UNTERSUCHUNGEN IN DER GANZ KLEINEN UND GANZ GROSSEN WELT
24	MACHT SCHOKOLADE SCHLAU?
26	ERKUNDUNGEN AM HIMMEL

Kommentar 30 IMPACT? WARUM DER WISSENSCHAFTLICHE NACHWUCHS NICHT AN SEINEN ZITATIONEN GEMESSEN WERDEN SOLLTE

Projekte 32 LAUFEN ALS METAPHER Der Kurzfilmwettbewerb „be a better being“ lotete den ewigen Drang des Menschen aus, ein besseres Wesen werden zu wollen

Arbeitsgruppen 36 SICH EINMAL VON AUSSEN BETRACHTEN Eine Konferenz der AG Faszination beschäftigte sich mit den Möglichkeiten des Perspektivwechsels

Internationales 40 WELTWEITE VERNETZUNG Die Global Young Academy steht in ihrem siebten Jahr vor neuen Herausforderungen

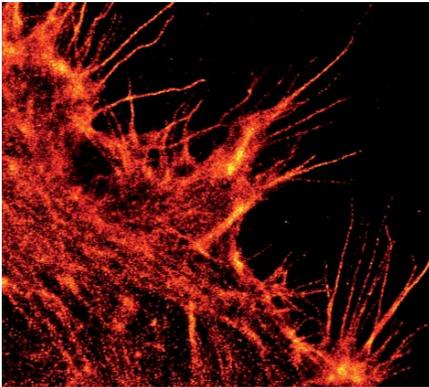
JA aktiv 42 PREISE, STIPENDIEN UND AUSZEICHNUNGEN
44 PUBLIKATIONEN
46 TERMINE 2017/2018

Zu guter Letzt 48 WAS MACHT EIGENTLICH ... Volker Springel?

HOCHLEISTUNG – PRÄZISER, SCHNELLER, WEITER

KONZEPTION TOBIAS J. ERB

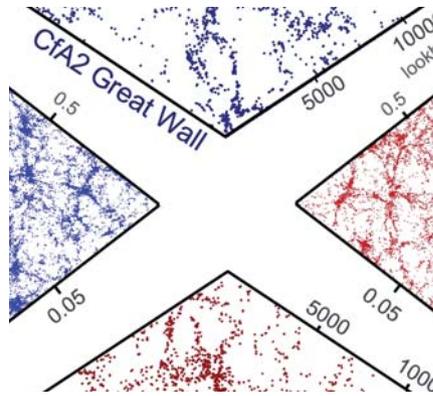
Beim Thema Hochleistung denken nicht wenige Menschen wohl zuerst an den Spitzensport. Man assoziiert damit Begriffe wie höher, schneller und weiter. Um neues wissenschaftliches Terrain zu vermessen, müssen auch Forschende jeden Tag nach Höchstleistungen streben. Unsere Autorinnen und Autoren, allesamt Mitglieder der Jungen Akademie, berichten in diesem Dossier, wie sie mit Hilfe von Supercomputern oder der aktuellsten Generation von Mikroskopen zu neuen Erkenntnissen gelangen.



„An einer lebenden Zelle lässt sich sogar erkennen, wie viel Prozent der RNA-Polymerase gerade einen DNA-Abschnitt abschreibt“,
erzählt Ulrike Endesfelder
(ab Seite 7).



„Bdellovibrio bacteriovorus, ein räuberisch lebendes Bakterium, das sich von anderen Bakterien ernährt, bewegt sich mit bis zu 150 Körperlängen pro Sekunde fort“,
berichtet Thomas Böttcher
(ab Seite 14).

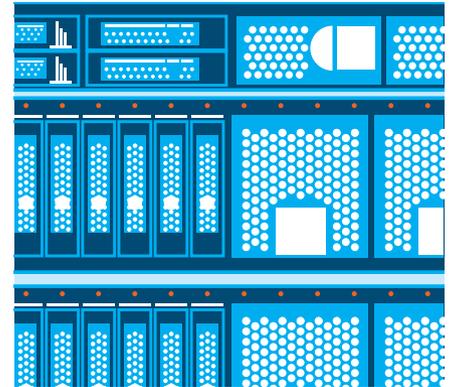


„Welche Rechnung könnte so kompliziert sein, dass man dafür Hunderttausende von Prozessoren auf einmal benötigt?“

Diese Frage beantworten Bettina Keller und Fabian Schmidt.
(ab Seite 18).



„Was passiert, wenn man bestimmte Gene löscht oder Proteine deaktiviert? Hier sind kausale Methoden von Interesse“,
erklärt Jonas Peters
(ab Seite 24).



„Längst ist das Rechnen selbst nicht mehr der kritische Flaschenhals, sondern die Kommunikation und der Zugriff auf den Speicher“,
schreibt Dirk Pflüger
(ab Seite 16).



„Viele Entwicklungen der Forschung finden zu einem Zeitpunkt statt, an dem noch nicht klar ist, welche praktische Anwendung die Entdeckung haben wird“,
sagt Bernadett Weinzierl im Interview
(ab Seite 26).



Rote, grüne und blaue Laserstrahlen werden über verschiedene Spiegel übereingeführt, bevor sie als ein gemeinsamer Strahl in das Fluoreszenzmikroskop eingekoppelt werden. Dort bringen sie markierte Proteine von Lebendzellen zum Leuchten. Mit der Methode lassen sich einzelne Bestandteile und die Struktur einer Zelle untersuchen.

„WIR KÖNNEN LIVE BEOBACHTEN, WIE GENETISCHE CODES KOPIERT WERDEN“

Die Biophysikerin Ulrike Endesfelder über Fluoreszenzmikroskopie und aufschlussreiche Einblicke in das Innenleben von lebenden Zellen

INTERVIEW DIRK LIESEMER | FOTOS ULRIKE ENDESFELDER



DIE BIOPHYSIKERIN

Ulrike Endesfelder arbeitet am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie & LOEWE Zentrum für Synthetische Mikrobiologie in Marburg. Sie ist seit 2015 Mitglied der Jungen Akademie.

JAM: Auf den ersten Blick sehen die Mikroskopaufnahmen wie spektakuläre Bilder aus dem Weltraum aus. Was genau zeigen die Fotos?

Ulrike Endesfelder: Wir sehen Proteine, die künstlich zum Leuchten gebracht wurden. Dadurch erkennt man unterschiedliche Bestandteile der Zelle, wie etwa das Zellskelett aufgebaut ist, welche Struktur es hat und wie es stabil gehalten wird. Darüber hinaus zeigen die Fotos, dass manche Proteine gezielt genutzt werden, um Dinge von A nach B zu transportieren. Und in einem der Bilder sieht man, wie die RNA-Polymerase arbeitet – also jenes Protein, das unsere genetischen Informationen abschreibt. Wir können mit dem Fluoreszenzmikroskop live beobachten, wie mit dieser Abschrift die Proteine gebaut werden.

JAM: Sie forschen seit 2008 mit Hilfe von hochauflösender Fluoreszenzmikroskopie an subzellulären Zellstrukturen und Dynamiken. Worin besteht Ihr Erkenntnisinteresse?

Ulrike Endesfelder: Als wir begannen, war die hochauflösende Fluoreszenzmikroskopie neu. Wir wussten nicht, was man mit den Mikroskopen alles anfangen kann, ob sich dreidimensionale und mehrfarbige Bilder aufnehmen lassen. Auch ging es um die Frage, wie detailreich die Bilder maximal sein können. Der große Vorteil dieser Art der Mikroskopie liegt darin, dass ich neben den detaillierten Strukturaufnahmen auch dynamische Prozesse innerhalb der lebenden Zelle beobachten kann: die Teilung der Zelle sowie ihre Regulation, die Transkription der DNA-Information oder deren Replikation. Man wusste bereits,



Das Protein RNA-Polymerase erfüllt, in diesem Fall in Escherichia-coli-Bakterien, einen bestimmten Job: Es liest den genetischen Code ab und fertigt von diesem eine Abschrift an. Damit können an einem anderen Ort in der Zelle neue Proteine gebaut werden. Mit Hilfe der hochauflösenden Mikroskopie lassen sich in lebenden Zellen einzelne RNA-Polymerasen bei der Arbeit beobachten. So lässt sich nachvollziehen, wann, wie schnell oder wo welcher Teil der DNA von ihnen abgeschrieben wird.

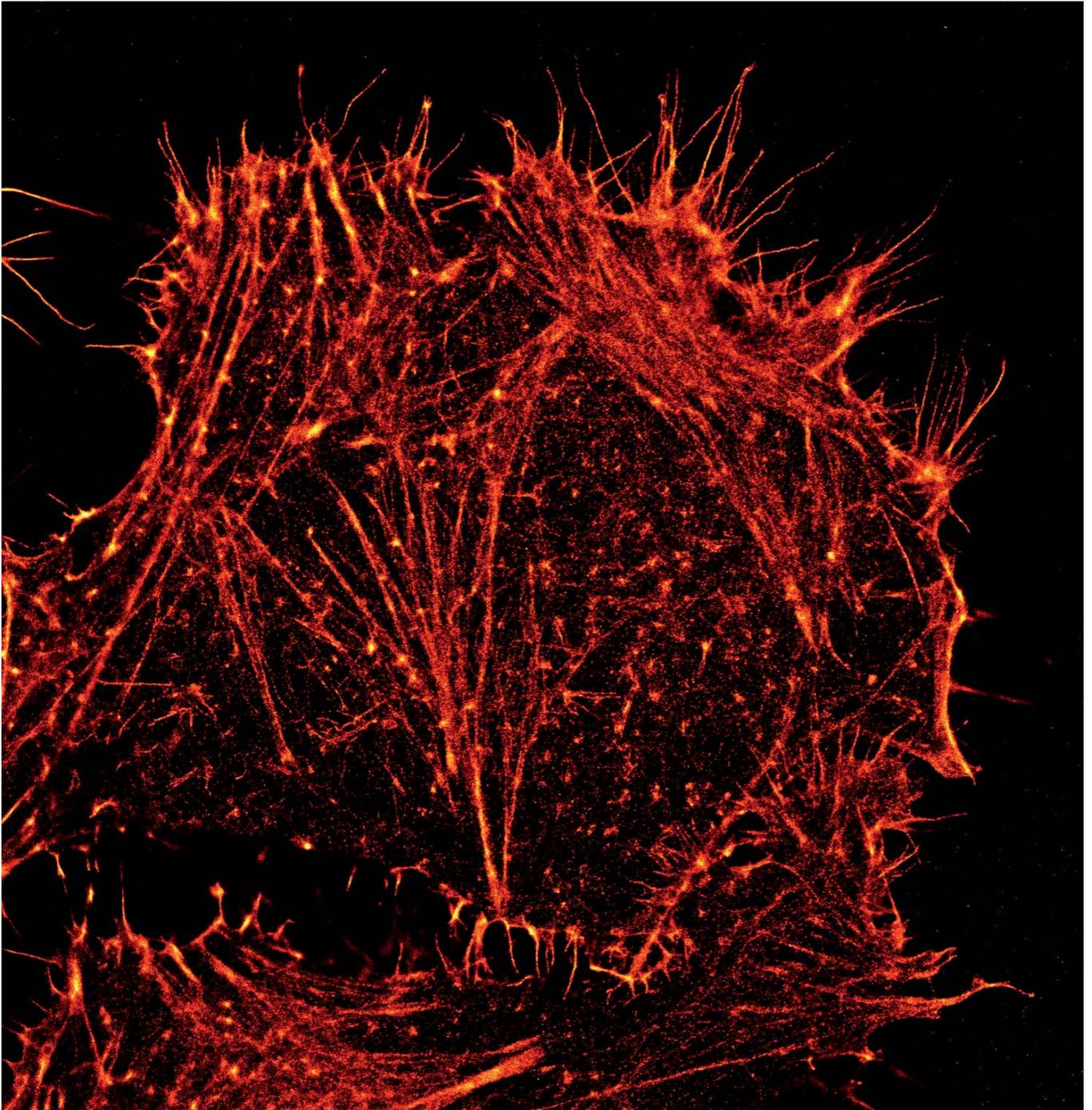


BILD: DAVID VIRANT, AG ENDESFELDER, KOOPERATIONSPROJEKT MIT AG ROTHBAUER, TÜBINGEN

Aktinskelett einer menschlichen Zelle: Das Strukturprotein Aktin polymerisiert zu dynamischen Filamenten (Fasern). Es bildet dabei ein großes, verzweigtes Netzwerk aus und ist ein maßgeblicher Bestandteil im Zellskelett eukaryotischer Zellen. Als stabilisierendes und dynamisches Gerüst bedingt es die äußere Zellform. Mit Hilfe kleiner Zellfortsätze kann sich die Zelle gerichtet bewegen oder es können Kontakte von Zelle zu Zelle ausgebildet werden. Entlang des Aktinnetzes werden auch Vesikel (sehr kleine, rundliche bis ovale Bläschen) zur Membran transportiert.

welche Proteine bei diesen Prozessen eine Rolle spielen und wie ihre Interaktionen grundsätzlich ablaufen. Nun aber lässt sich in einer lebenden Zelle betrachten und vermessen, wann und wo sich welches Protein aufhält.

JAM: Viele Erkenntnisse wären also mit der bis dahin existenten Mikroskopie nicht möglich gewesen?

Ulrike Endesfelder: Jedenfalls wäre vieles deutlich schwieriger gewesen. Eine wichtige Voraussetzung für unsere Hochleistungsmikroskopie war die Entdeckung des grün fluoreszierenden Proteins, kurz GFP. Es kommt als natürlicher Farbstoff in Quallen vor und kann durch Lichtanregung, in unserem Fall durch Laserlicht, leuchten. Man hat es geschafft, den Protein-Code aus einer Qualle zu extrahieren und genetisch als Marker an fast jedes beliebige Zielprotein in verschiedensten Organismen anzuheften. Wenn man das GFP durch Laserlicht anregt, beginnt das Protein zu leuchten. So kann man genau verfolgen, wo sich das durch GFP markierte Protein in der Zelle befindet, welche Strukturen es bildet und wie es sich bewegt. Durch fluoreszierende Proteine wie GFP sind Beobachtungen in lebendigen Zellen möglich und Routine geworden.

JAM: Wie viel genauer ist diese Art der hochauflösenden Mikroskopie?

Ulrike Endesfelder: In der klassischen Mikroskopie kann man Strukturen bis zu 200 bis 300 Nanometer genau auflösen. Kleinere Details, etwa Proteine oder feine Substrukturen, die sich näher sind, kann man nicht auseinanderhalten. Zum Vergleich: Eine Bakterienzelle kann nur 500 Nanometer breit sein. Man erkennt zwar die Zelle, aber nicht den Ort, an dem sich leuchtendes Protein genau befindet: Ist es an der Membran oder in der Mitte der Zelle? Mit der hochauflösenden Fluoreszenzmikroskopie können wir noch zehn bis zwanzig Nanometer große Strukturen sehen.

JAM: Wenn man ältere Bilder mit den Aufnahmen aus hochauflösenden Mikroskopen vergleicht, denkt man, dass jemand an der Schärfe gedreht hat.

Ulrike Endesfelder: Ja, stimmt! Wir haben einen hohen Kontrast und eine genaue Auflösung. Beides führt zu einem gut erkennbaren Bild. Zwar waren die Kontraste vorher schon gut, aber die Auflösung ist jetzt zehn Mal besser als zuvor.

JAM: Nun bedeutet hochauflösend auch, dass diese Art der Mikroskopie sehr empfindlich ist.

Ulrike Endesfelder: Deswegen steht unser Mikroskop im Keller, wo es – im Vergleich zu den oberen Stockwerken – weniger Vibrationen gibt, beispielsweise durch Türen, die zugeschlagen werden. Jede winzige Bewegung, selbst wenn man sie mit dem bloßen Auge nicht wahrnimmt, kann im Mikroskop als verwackeltes Bild erscheinen. Deshalb ist der optische Tisch, auf dem die ganze Technik steht, durch Druckluft gedämpft und so von der Umgebung isoliert.

JAM: Um die Fluorophore in den Zellen anzuregen, arbeiten Sie mit Lasern. Wie weit ist die Technik?

Ulrike Endesfelder: Wir arbeiten hier zum Beispiel mit sechs unterschiedlichen Laserfarben. Einige Fluorophore kann ich mit blauwelligem Licht anregen, andere mit grünem und wieder andere mit rotem. So kann ich die Proteine voneinander unterscheiden und gleichzeitig beobachten. Die Aufnahme der Bilder funktioniert im Grunde wie eine normale Digitalkamera mit CCD-Chip. Nur ist unsere Technik deutlich empfindlicher, so dass wir einzelne Fluorophore sehen können, die gerade mal ein paar Tausende Photonen Licht emittieren.

JAM: Was weiß man heute, was man vor 2006, als diese Hochleistungsmikroskopie aufkam, noch nicht wusste?

Ulrike Endesfelder: Ich konnte mit meiner Arbeit herausfinden, wie viele RNA-Polymerasen – also Proteine, welche die DNA abschreiben – sich in einer bestimmten Zelle befinden. Vorher fehlte dazu die notwendige bildgebende, quantitative Mikroskopie. Nun kann ich sagen, wie diese Zelle aussieht, an welcher Stelle sich die RNA-Polymerasen gerade befinden und kann genaue Aussagen über ihre Anzahl machen. An einer lebenden Zelle lässt sich sogar erkennen, wie viel Prozent der RNA-Polymerase gerade einen DNA-Abschnitt abschreiben und wie viel Prozent bereits nach einem neuen Abschnitt suchen. Mit anderen Untersuchungen erkunden wir, wie komplexe Strukturen aus vielen Proteinen aufgebaut sind, wie ihre räumliche Anordnung aussieht und wie sich ihre Geometrie unter bestimmten Umständen verändert. All dies kann man in den Zellen selbst, auch in der lebenden Zelle, beobachten. Mit Hilfe von In-vitro-Experimenten wäre das alles nicht möglich.

JAM: Und kaum hat man Antworten gefunden, stellen sich neue Fragen. Woran arbeiten Sie zurzeit?

Ulrike Endesfelder: Eine zentrale Frage ist, wie sich die Anwesenheit der Fluorophore möglicherweise auf die Proteine auswirkt. Sie werden ja von außen in die Zelle eingebracht. Aktuell geht die Forschercommunity davon aus, dass eine Zelle umso weniger gestört wird, je kleiner beispielsweise ein Fluorophor ist. Deshalb geht der Trend zu immer kleineren, kompakteren Markierungsstrategien. Zudem versucht man, weniger Laserlicht zu benutzen. Denn es gibt Prozesse, die sehr empfindlich sind und dementsprechend schnell beeinträchtigt werden. Auch mit der Wellenlänge des verwendeten Lichtes wird man vorsichtiger: Fluoreszierende Proteine werden oft mit Hilfe von UV-Licht photoaktiviert, das per se nicht sehr schonend ist. Man sollte sich ja auch nicht stundenlang in einem Solarium bräunen. Wir bereiten gerade eine aktuelle Studie zur Veröffentlichung vor, in der wir zeigen können, dass wir auch langwelligeres und damit energieärmeres Licht benutzen können, um fluoreszierende

Proteine zu photoaktivieren. Unser Ziel ist es, das normale Verhalten einer Zelle zu beobachten – und nicht irgendwelche Schutz- oder Notreaktionen zu provozieren.

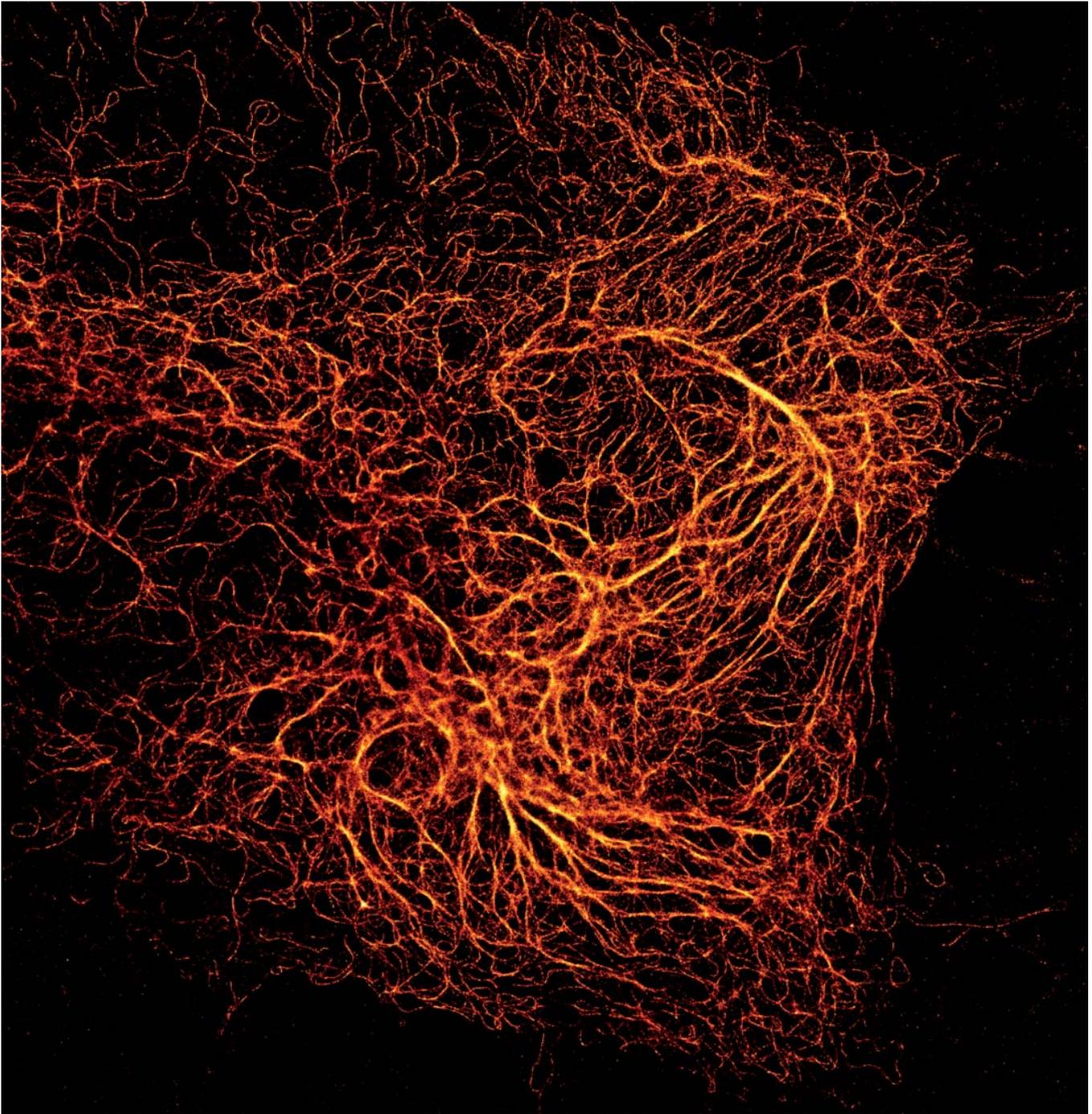
JAM: Wie vielversprechend ist es, wenn man verschiedene Mikroskope miteinander kombiniert?

Ulrike Endesfelder: Wir kombinieren unsere Hochleistungsmikroskopie oft mit biochemischen oder auch spektroskopischen Methoden. Dabei beobachten wir zunächst, wie sich eine größere Zellpopulation als Ganzes verhält, um dann die subzellulären Strukturen zu untersuchen. Oder ich verbinde Fluoreszenz- und Elektronenmikroskopie miteinander. Letztere ermöglicht es aufgrund ihrer hohen Auflösung der gesamten Ultrastruktur, größere Zusammenhänge besser zu erkennen. Allerdings eignet sich dieses Verfahren nicht für Lebendzellen. Mit der Fluoreszenzmikroskopie können wir dafür zwei oder drei Proteine gezielt markieren und beobachten. Legt man die Aufnahmen aus beiden Mikroskopen übereinander, erhält man sehr detaillierte Bilder und kann zugleich erkennen, in welchem größeren Zusammenhang sich einzelne Proteine bewegen.

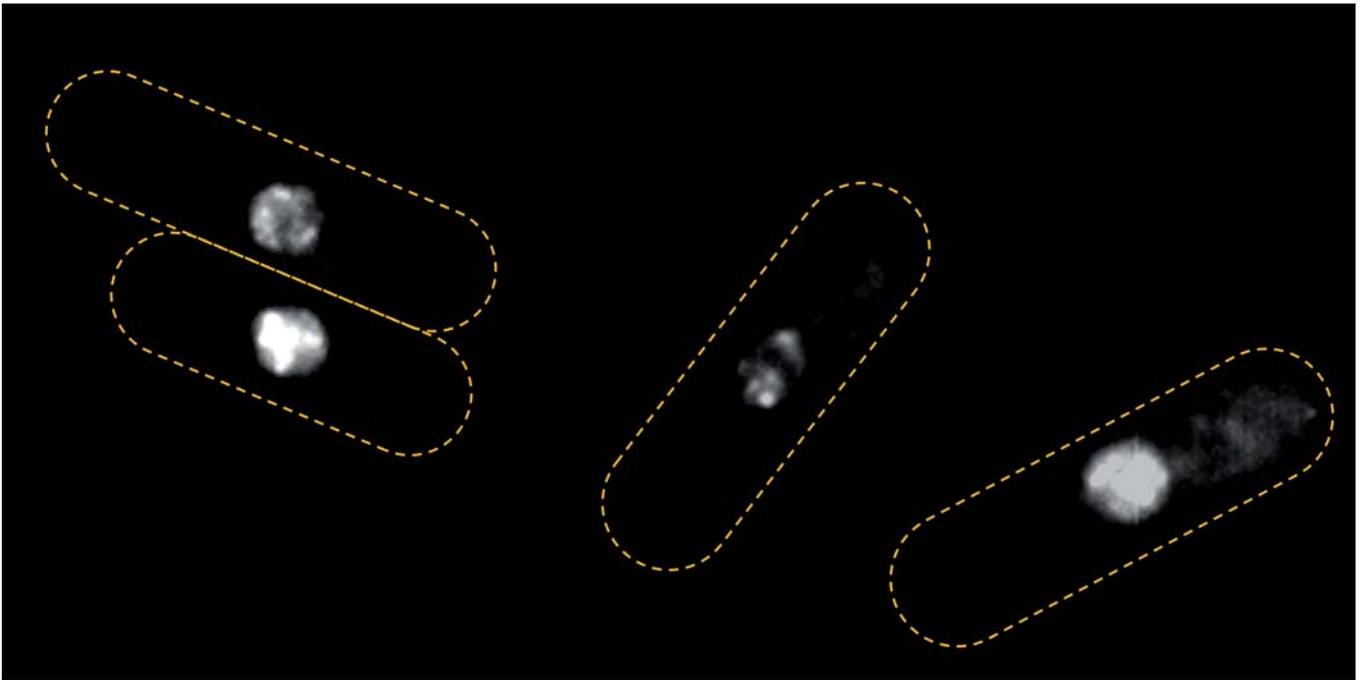
JAM: Wenn Sie Ihre Erkenntnisse zusammenfassen: Laufen die Prozesse in einer Zelle zufällig oder gerichtet ab?

Ulrike Endesfelder: Ich arbeite viel mit Bakterien und Hefen. Hefezellen haben einen Zellkern und eine hohe räumliche Organisation, was bereits für geordnete Abläufe spricht. In Bakterienzellen hingegen existieren keine klaren Kompartimente. Lange Zeit dachte man deshalb, dass im Innern einer Bakterie alle Prozesse räumlich ungeordnet und gleichzeitig stattfinden. Mittlerweile wissen wir, dass auch die intrazellulären Abläufe einer Bakterienzelle sehr präzise koordiniert sind. Die Proteine verteilen sich nicht gleichmäßig in ihrem Innern, sondern sind strukturiert organisiert. Die große Frage lautet nun: Wer reguliert da wen?





Vimentin-Netzwerk in einer menschlichen Zelle: Wie Aktin ist auch Vimentin ein strukturgebendes Protein des Zytoskeletts eukaryotischer Zellen, ein sogenanntes Intermediärfilament. Es hat eine wichtige Rolle bei der Organisation der Organellen im Zytosol und ist beispielsweise an den Zellkern, das endoplasmatische Retikulum und die Mitochondrien gebunden. Aufgrund seiner vielfältigen, oft noch nicht genau bestimmten Funktionen steht es im Fokus aktueller Forschung.



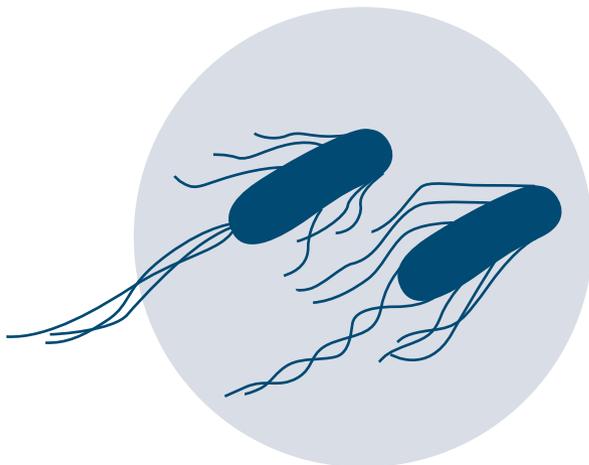
*Das nukleäre, DNA-bindende Protein $cbp1$, das hier in den Zellkernen einzelner *Schizosaccharomyces-pombe*-Hefezellen zu sehen ist, hat mehrere Funktionen: Zum einen ist es Teil des Kinetochores, einem Multiprotein-Komplex, der jede Zellteilung reguliert und DNA mit den Mikrotubuli des Spindelapparates verbindet. Zum anderen bindet das Protein sowohl an Startpunkte der Replikation als auch an Transposons, was auf regulierende Funktionen hindeutet.*



SCHNELLER ALS EIN WANDERFALKE

Viele der erstaunlichsten Rekorde der Natur finden sich dort, wo man sie kaum vermuten würde: im Mikrokosmos der Kleinstlebewesen

TEXT THOMAS BÖTTCHER



Escherichia coli

Hochleistung wird oft nur mit technischen Errungenschaften des Menschen oder Lebewesen des Makrokosmos in Verbindung gebracht. Dabei sind es gerade die kleinsten, mit dem bloßen Auge unsichtbaren Lebensformen, die einen Großteil der Rekorde aus dem Tier- und Pflanzenreich in den Schatten stellen. Einzellige Mikroben wie Bakterien, Pilze und Archaeen sind nach wie vor die wahren Herrscher unseres Planeten.

Schon ein Gramm Erde enthält teilweise mehr Mikroorganismen als es Menschen auf der Erde gibt. Doch nicht nur ihre schiere Menge und Vielfalt ist erstaunlich. Sie haben jeden Winkel unseres Planeten und nahezu jeden noch so unwirtlichen Lebensraum besiedelt. Von 122 Grad Celsius heißen hydrothermalen Schloten bis zu Permafrostböden, von kochenden Säurequellen bis zu Seen mit konzentrierter Lauge, gesättigten

Salzlösungen und schwermetallreichen Grubenwässern. Mikrobielles Leben gedeiht auch dort, wo viele höhere Lebensformen längst nicht mehr überleben könnten.

Ein Großteil dieses Erfolges ist den kurzen Generationszeiten der Mikroorganismen und ihrer daraus resultierenden raschen Anpassungsfähigkeit zuzuschreiben. Schon das gewöhnliche Darmbakterium *Escherichia coli* teilt sich alle zwanzig Minuten und nähert sich damit dem thermodynamischen Effizienzlimit. Ein thermophiles Bakterium (Stamm TR10) aus den Hydrothermalquellen des Tanganjikasees in Ostafrika zeigte bei einer optimalen Wachstumstemperatur von 60 Grad sogar eine rekordverdächtige Verdopplungsrate von nur zehn Minuten.

Eine solche Reproduktionsgeschwindigkeit verlangt einer Zelle absolute Höchstleistungen in Effizienz und Koordination ab. Innerhalb weniger Minuten muss die gesamte Erbinformation der Zelle vervielfältigt, abgelesen und alle in ihr codierten Funktionen ausgeführt werden. Hierbei setzen Hochleistungsenzyme die etwas über 4,6 Millionen einzelnen Basenpaare des Bakteriengenoms aus ihren Bausteinen in der richtigen Reihenfolge zusammen, wobei jedes einzelne Enzym Spitzengeschwindigkeiten von tausend Reaktionen pro Sekunde erreicht. Währenddessen lesen andere Enzyme bereits die über viertausend Gene ab und übersetzen diese in RNA und Proteine.

In nur wenigen Minuten stellt die Zelle somit an die zehn Millionen neue Proteine her, welche wiederum Milliarden kleiner Moleküle herstellen, den Energiebedarf der Zelle decken und ihre eigenen Bausteine für Proteine und Nukleinsäuren, Zucker und Bestandteile der Zellmembran und Zellwand synthetisieren. Dies erfordert eine exakte Abstimmung der Stoffwechselwege

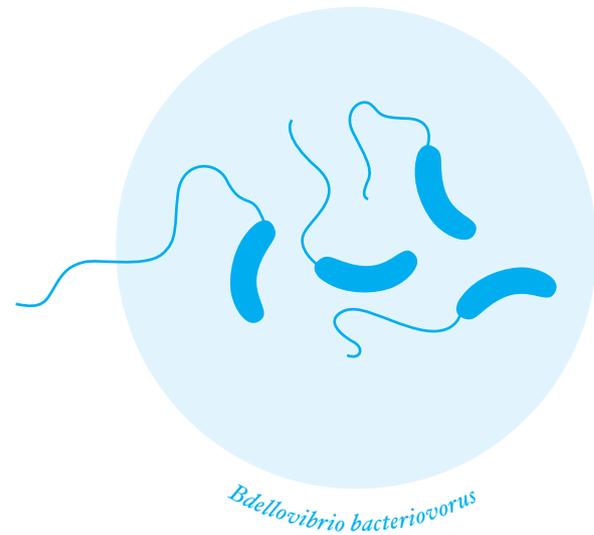
und Enzyme untereinander, um einen maximalen Durchsatz bei höchster Genauigkeit zu erzielen.

Alle diese Prozesse finden in einer Bakterienzelle mit der Größe von wenigen tausendstel eines Millimeters statt. Unsere „Kleinsten“ sind damit noch längst nicht an den Grenzen ihrer Fähigkeiten angelangt. Viele Mikroorganismen produzieren nebenbei Stoffe, die für uns von großem Wert sind: Antibiotika, Vitamine und eine enorme Fülle an pharmakologischen Wirkstoffen. Auch für Fermentationsprozesse sind Mikroorganismen essenziell und sie finden daher Einsatz in der Herstellung von Nahrungsmitteln wie Joghurt, Käse, Wurst, alkoholischen Getränken und Essig, aber auch von Treibstoffen wie Methan, Ethanol und Wasserstoff. Mit Hilfe von genetisch getunten Bakterien lassen sich sogar Insulin, Interferon und Feinchemikalien großtechnisch produzieren.

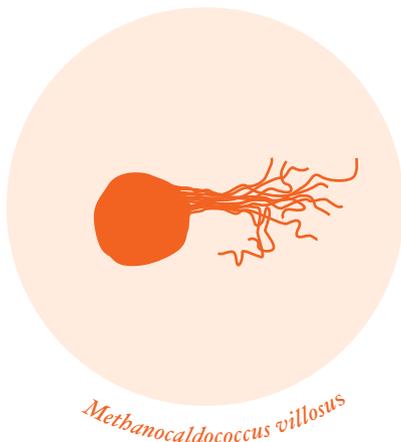
Hochleistung erbringen Mikroorganismen nicht nur in ihrer Rolle als Produzenten für die Biotechnologie. Einige Bakterien verfügen über winzige Motoren, die es durchaus mit dem Stand der modernsten Technik des Menschen aufnehmen können. Diese bakteriellen Motoren sind in der Membran der Bakterienzellen verankert und jeweils mit einem extrem langen, kabelartigen Proteinfilament, einer sogenannten Flagelle verbunden. Dieser Motor dreht die Flagelle wie einen riesigen, peitschenförmigen Propeller und treibt damit die Zelle an. Auf diese Weise können sich Mikroorganismen schwimmend in Flüssigkeiten oder als Schwärme über feuchte Oberflächen bewegen. Auf chemische Reize hin können sie die Richtung ihrer Bewegung verändern. Flagellen stellen somit eine Art Außenbordmotor in der Bakterienwelt dar.

Die Leistung dieser Motoren ist erstaunlich. Während ein moderner Außenbordmotor eine Drehzahl von etwa fünftausend Umdrehungen pro Minute aufweist, wurden bei der Bakterienart

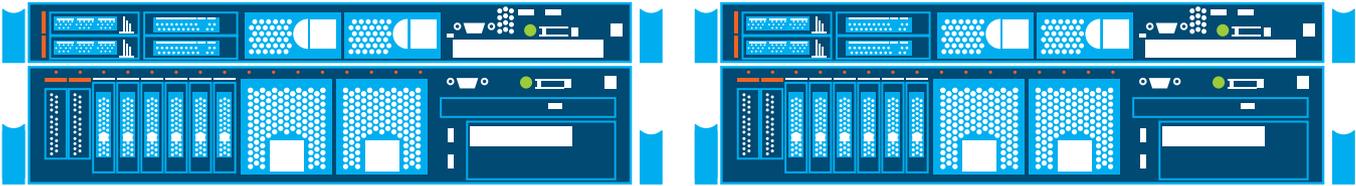
Vibrio alginolyticus Spitzengeschwindigkeiten des flagellaren Motors bis zu hunderttausend Umdrehungen pro Minute gemessen. Dies entspricht in etwa dem Zehnfachen der Drehzahl eines Jettriebwerks in der Luftfahrt. Durch diese Hochleistungsmotoren erhalten Bakterien einen Schub, der sie bis zu einige Zehntel eines Millimeters pro Sekunde vorwärtsstoßen kann. Da ihre Größe jedoch nur wenige tausendstel eines Millimeters ausmacht, ist ihre Geschwindigkeit im Verhältnis zur Körperlänge geradezu außerordentlich.



Bdellovibrio bacteriovorus, ein räuberisch lebendes Bakterium, das sich von anderen Bakterien ernährt, bewegt sich mit rund 150 Körperlängen pro Sekunde fort. *Methanocaldococcus villosus* ist ein methanproduzierender Vertreter der Archaeen, der sich in heißen Tiefseequellen besonders wohlfühlt und Spitzengeschwindigkeiten von 500 Körperlängen pro Sekunde erreicht. Vermutlich resultiert dessen Schnelligkeit in der Fortbewegung aus einer Anpassung an die starken lokalen Temperaturen und Nährstoffschwankungen in seiner Umwelt. Zum Vergleich: Der Gepard erreicht als schnellstes Landsäugetier gerade einmal zwanzig Körperlängen pro Sekunde. Auch der Wanderfalke, das schnellste Tier im Makrokosmos, kann hier nicht mithalten. Seine Höchstgeschwindigkeiten von 389 Kilometern pro Stunde im Sturzflug aus knapp fünf Kilometer Höhe entsprechen etwa 300 Körperlängen pro Sekunde. Damit ist der Wanderfalke dem Winzling *Methanocaldococcus villosus* immer noch deutlich unterlegen. Man muss also nicht einmal besonders hoch hinaus, um Höchstleistungen vorzufinden. ❁



Thomas Böttcher arbeitet am Fachbereich Chemie der Universität Konstanz. Er ist seit 2015 Mitglied der Jungen Akademie.



93 000 000 000 000 000 000 RECHENOPERATIONEN PRO SEKUNDE

Noch immer überflügelt jede neue Generation von Supercomputern ihre Vorgänger. Weil die Leistungsfähigkeit einzelner Prozessoren an Grenzen stößt, wird die Komplexität für Konstrukteure und Nutzer immer größer.

TEXT DIRK PFLÜGER

Werfen wir einen kurzen Blick in die Geschichte. Das Wort „Computer“ war ursprünglich die Berufsbezeichnung für jemanden, der Berechnungen durchführte: „A computer wanted“ hieß es erstmals in einer Anzeige der US-Marine in der *New York Times* im Jahr 1982. Die gewünschten Voraussetzungen waren: Kenntnisse in Algebra, Geometrie, Trigonometrie und Astronomie.

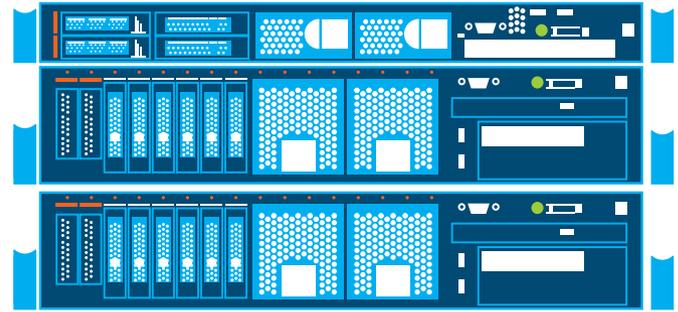
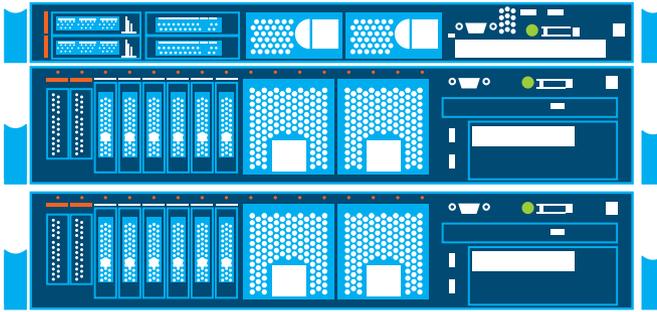
Mit dem Einzug der ersten elektronischen Rechner wurde der Name „super computer“ geprägt. Ein Supercomputer war etwas, das Berechnungen schneller anstellen konnte als die menschliche Variante. Und seine Leistungsfähigkeit wuchs rasant: 1965 formulierte Gordon Moore, Mitbegründer der Firma Intel, sein bekanntes „Gesetz“, wonach sich vereinfacht gesprochen die Rechenleistung von Computern alle zwei Jahre verdoppelt – eine Beobachtung, die im Wesentlichen bis heute zutrifft. Für den Computerkäufer bedeutet dies, dass bei ähnlicher Größe (gemessen in Volumen oder in Geld, so genau rechnen wir hier nicht) der nächste Rechner entsprechend leistungsfähiger ausfällt. Ist ein Programm zu langsam, so genügt es, auf die nächste Generation von Computern zu warten.

Diese Leistungssteigerung lässt sich am ehesten mit einer „Was wäre wenn“-Überlegung verdeutlichen: Betrachten wir etwa einen VW Käfer aus dem Jahr 1970 mit einer Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h, also 36 Metern pro Sekunde. Hätte sich seine Geschwindigkeit in gleichem Maße gesteigert wie die der Computer, so hätte er bereits im Jahr 1977 die Schallmauer

durchbrochen, wäre heute mit über Lichtgeschwindigkeit unterwegs und würde 2030 das Raumschiff Enterprise bei Warp 5 (125-fache Lichtgeschwindigkeit) mit mehr als $4,7 \times 10^{10}$ Metern pro Sekunde (beziehungsweise $2,2 \times 10^{11}$ km/h) links liegen lassen.

Andererseits bedeutet Moores Gesetz, dass wir bei vergleichbarer Rechenleistung die Rechner immer kleiner bauen können. So wurden die riesigen Anlagen auf handliche Kisten geschrumpft, die als Personal Computer über die Jahre immer leistungsfähiger wurden – oder wiederum durch kleinere Geräte ersetzt wurden.

Doch was wurde aus der Klasse der ganz großen Maschinen – jene, die nicht geschrumpft, sondern entsprechend leistungsfähiger wurden? Die, an die Thomas Watson als Präsident der IBM vermutlich dachte, als er 1943 prognostizierte: „I think there is a world market for maybe five computers“? Nun, es gibt sie sehr wohl noch und es sind deutlich mehr als fünf geworden: Zweimal im Jahr werden diese Supercomputer oder Höchstleistungsrechner in der Top500 gekürt, der Liste der 500 weltweit schnellsten zivil genutzten Rechner. Gemessen wird hierzu im sogenannten Linpack Benchmark die Anzahl an Rechenoperationen pro Sekunde für eine Auswahl an linearen Algebra-Routinen wie dem Lösen eines großen Gleichungssystems oder Matrix-Vektor-Multiplikation – alles Kernaufgaben eines ursprünglich menschlichen „Computers“. Als Anhaltspunkt: Typischerweise entspricht die Leistungsfähigkeit der größten Supercomputer etwa der von zehntausend PCs (von denen jeder



ungefähr die Rechenleistung eines Supercomputers von vor zwanzig Jahren hat).

Die aktuelle Nummer eins – der chinesische Rechner Sunway TaihuLight mit seinen mehr als zehn Millionen Recheneinheiten – erreicht 93 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde, was wiederum kaum vorstellbar ist (es handelt sich um eine 93 mit 15 Nullen): Wenn jeder einzelne der etwa 7,5 Milliarden Menschen auf der Erde es schaffen würde, 12,5 Millionen Rechenoperationen pro Sekunde zu lösen (nebenbei bemerkt: Ende der 1960er Jahre war das die Leistung eines Supercomputers), dann wäre das eine vergleichbare globale Rechenleistung wie die des Sunway TaihuLight.

Architektur und Betrieb eines solchen Höchstleistungsrechners sind nicht trivial: Das beginnt schon mit der Leistungsaufnahme von 15 Megawatt und entspricht dem Energiebedarf von etwa 31.000 Vierpersonenhaushalten in Deutschland im Jahr 2016 und knapp einem Prozent der Nettoleistung eines aktuellen Kernkraftwerks. Bei Kosten von 25 Cent pro Kilowattstunde führt dies zur jährlichen Rechnung von 32 Millionen Euro für Strom! Über die gesamte Betriebsdauer betrachtet sind die Anschaffungskosten längst nicht mehr die kritische Größe.

Noch kritischer ist es, dass zehn Millionen Recheneinheiten nicht nur mit Strom versorgt und gekühlt werden müssen, sondern auch an Speicher anzubinden und miteinander zu vernetzen sind. Und schließlich müssen die Rechenaufgaben so aufgeteilt werden, dass alle Einheiten gleichzeitig daran arbeiten können. Wieso dann nicht lieber weniger Prozessoren und dafür schnellere verwenden? Seymour Cray, Computerpionier und Vater vieler Supercomputer, formulierte dies so: „Wenn du ein Feld pflügst, was würdest du lieber benutzen: zwei starke Ochsen oder 1024 Hühner?“ Ein schneller Prozessor ist einfacher zu handhaben als viele langsamere.

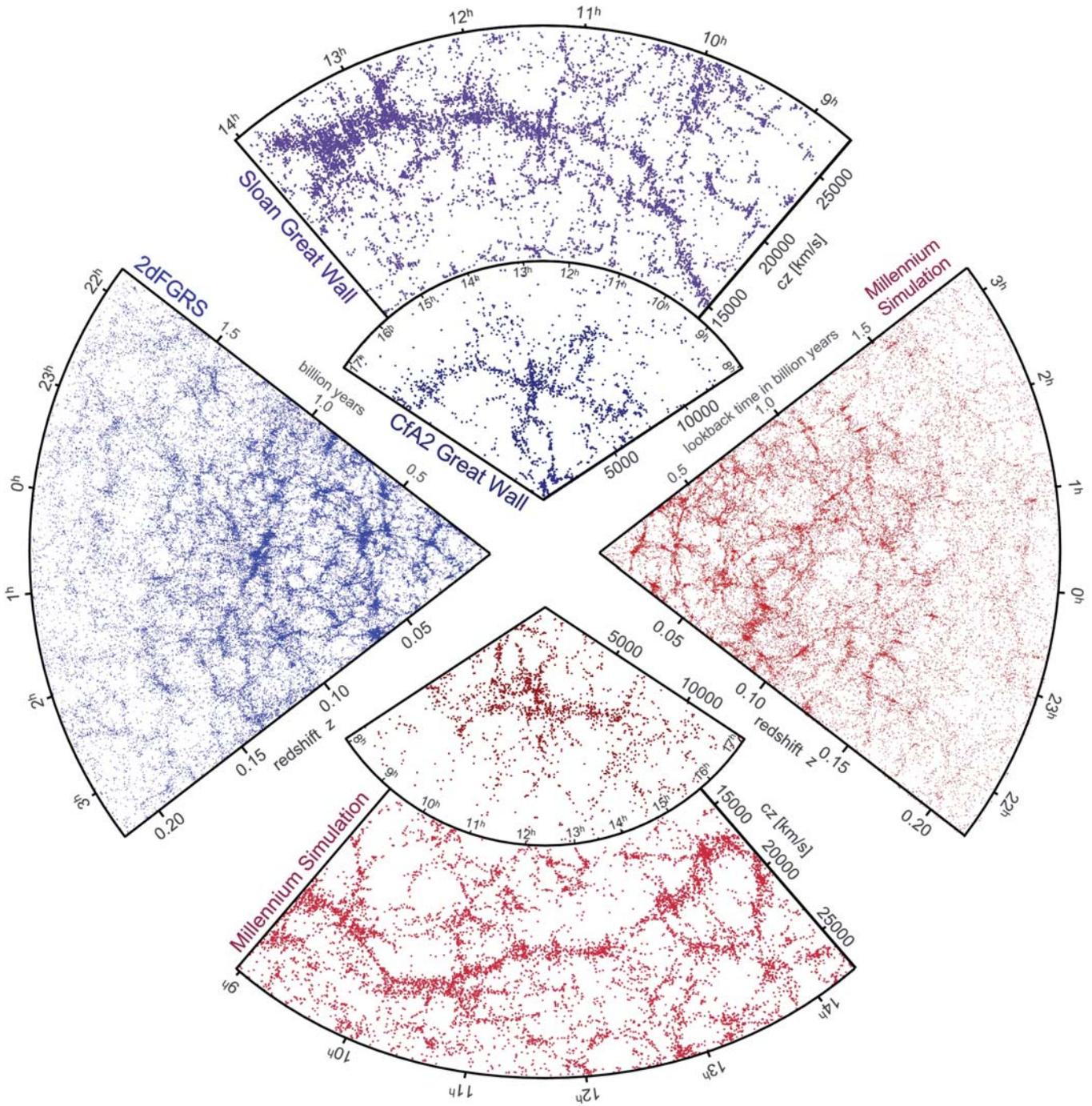
Seit mehr als zehn Jahren nimmt die Geschwindigkeit einzelner Prozessoren jedoch nicht mehr zu. Die Miniaturisierung im

Fertigungsprozess erreichte physikalische Grenzen. Das Mooresche Gesetz gilt nur noch, weil immer mehr Prozessoren zusammen zum Einsatz kommen. „Um einen größeren Wagen zu ziehen, ist es einfacher, mehr Ochsen hinzuzufügen als einen gigantischen Ochsen zu züchten“, notierten William Gropp und Kollegen in einem Paper.

Die zunehmende Parallelität ist Kernpunkt vieler Forschungsfragen im Höchstleistungsrechnen. Oder mit anderen Worten: Wie zieht man einen großen Wagen mit Hunderttausenden von Ochsen? Simulationsprogramme müssen umgeschrieben, neue mathematische Verfahren und Algorithmen entwickelt werden. Längst ist das Rechnen selbst nicht mehr der kritische Flaschenhals, sondern die Kommunikation und der Zugriff auf den Speicher. Wenn sich zehn Millionen Ochsen einigen müssen, in welche Richtung der Pflug gezogen werden muss, so geht dies nicht ohne Reibungsverluste – und ein Ochse am rechten Ende des Jochs kann nicht ohne weiteres während der Arbeit ganz nach links laufen, um etwas nachzufragen.

Um einige der großen Fragen der Wissenschaft zu beantworten – etwa zum Klimawandel, zum menschlichen Gehirn, aus der Astrophysik und den Geowissenschaften sowie zum Thema, ob Fusionsreaktoren als saubere Energiequelle dienen können –, wird dringend die enorme Rechenleistung zukünftiger Höchstleistungsrechner mit angepassten Algorithmen und Rechenverfahren benötigt. Für jede große Simulationsaufgabe ergeben sich erneut spannende Fragestellungen. Im Zusammenspiel von Informatikern, Mathematikern und Forschern aus den verschiedenen Anwendungsdisziplinen stoßen Millionen von Ochsen damit mit Höchstleistung die Türen auf zu wissenschaftlichem Neuland.

Der Informatiker Dirk Pflüger, Mitglied der Jungen Akademie seit 2015, arbeitet am Institut für Parallele und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart.



Ausschnitt aus der großräumigen Struktur im Universum, der einen Durchmesser von circa einer Milliarde Lichtjahren hat:
Die Beobachtungsdaten sind in blau, die Simulation ist in rot. Jeder Punkt repräsentiert eine Galaxie.

UNTERSUCHUNGEN IN DER GANZ KLEINEN UND GANZ GROSSEN WELT

Supercomputer werden eingesetzt, um komplexe Systeme besser zu verstehen – beispielsweise in der Kosmologie und der Molekulardynamik

TEXT BETTINA KELLER UND FABIAN SCHMIDT

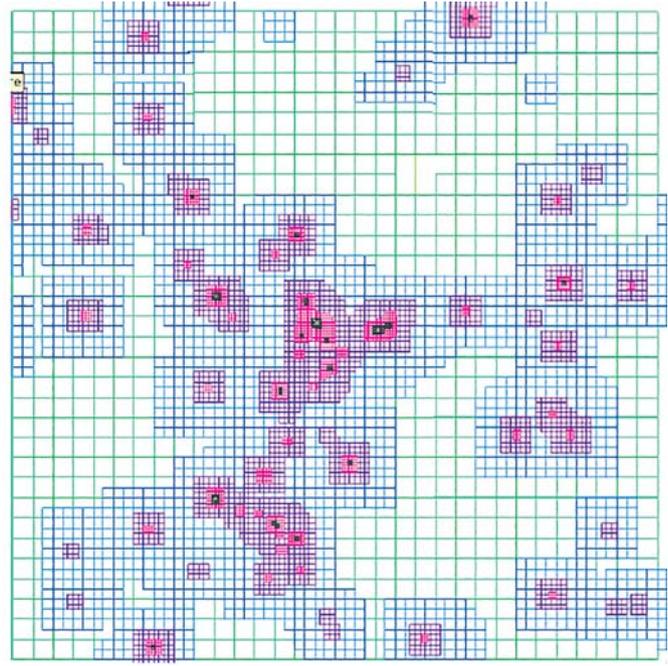
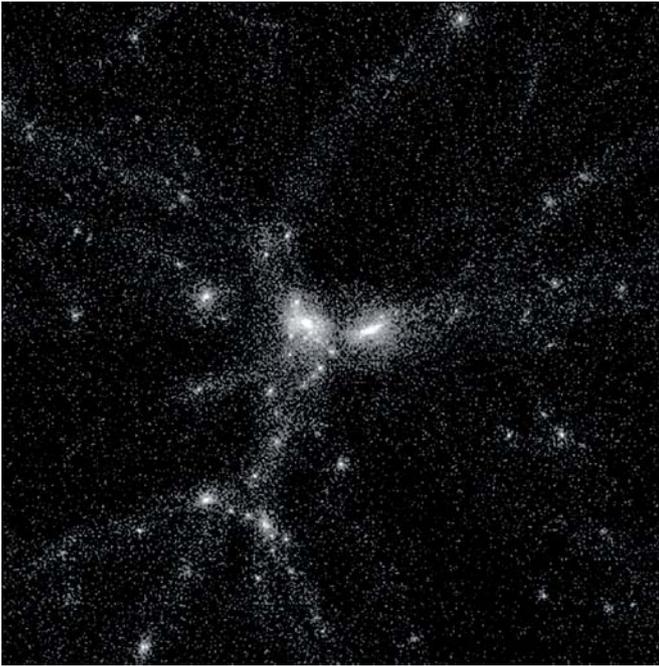
Hochleistungsrechner ist der sperrige deutsche Begriff für Supercomputer. Dies sind Rechenmaschinen, die Hunderttausende oder gar Millionen von Prozessoren haben und zuweilen ganze Hallen füllen. Aber ist das internationale Wettrennen um den größten und schnellsten Computer nicht längst zum Selbstzweck geworden? Welche Rechnung könnte so kompliziert sein, dass man dafür Hunderttausende von Prozessoren auf einmal benötigt?

Supercomputer kommen beispielsweise in der Kosmologie und der Molekulardynamik zum Einsatz. Es handelt sich zwar um sehr verschiedene Wissenschaftsgebiete, doch beide Anwendungen, die wir vorstellen, versuchen, das Verhalten extrem komplexer Systeme durch die Simulation von wechselwirkenden Teilchen besser zu verstehen. Im kosmologischen Fall sind es Teilchen der dunklen Materie, die über die Schwerkraft wechselwirken, während wir es in der Molekulardynamik mit Atomen zu tun haben, die über die elektromagnetische Kraft wechselwirken.

KOSMOLOGIE

Die großräumige Struktur des Universums (Abb. links) ist eines der wenigen Hilfsmittel, die wir nutzen können, um seine Zusammensetzung und Entwicklung zu rekonstruieren. Mittlerweile deuten alle Hinweise auf ein Universum hin, das von „dunklen“ Komponenten dominiert wird: Zum einen von der dunklen Materie, die Galaxien und Galaxienhaufen zusammenhält und deren Bildung erst ermöglicht hat. Zum anderen von der dunklen Energie, die die beschleunigte Expansion des Universums als Ganzes vorantreibt. Eines der Kernziele der modernen Kosmologie ist es, mehr über die Natur und die physikalischen

Eigenschaften der dunklen Materie und dunklen Energie zu erfahren. Das Universum hat in einem extrem heißen, dichten und homogenen Zustand begonnen. Die ursprünglichen Schwankungen in der Dichte und Temperatur des Universums waren kleiner als ein Zehntausendstel; dies entspricht Wellen von 50 Zentimeter Höhe auf einem 5000 Meter tiefen Ozean. Unter dem Einfluß der unnachgiebigen Schwerkraft wuchsen diese Dichteschwankungen an und bildeten nach circa 14 Milliarden Jahren die beobachtete großräumige Struktur sowie die Galaxien, Sterne und Planeten in ihr.



Zweidimensionaler Ausschnitt aus einem würfelförmigen Simulationsvolumen: Links die Materialdichte in einer kosmologischen Simulation und rechts ein adaptives Gitter, das zur Lösung der Gleichungen benutzt wird (adaptive mesh refinement).

In der Ozean-Analogie hat sich die Höhe der Wellen mittlerweile um den Faktor tausend vergrößert. Die Wellen entsprechen nun eher dem Meer in Küstennähe, wo die Höhe der Wellen in etwa der Tiefe des Wassers entspricht. Da 80 Prozent der gesamten Materie aus der dunklen Materie besteht, kann man sich die gewöhnliche Materie – also Galaxien und Sterne – als Schaumkronen auf diesen Wellen vorstellen.

Das heißt also, dass wir die Verteilung der Materie (des Wassers) nur indirekt (durch die Schaumkronen) nachzeichnen können. Um nun kosmologische Modelle mit den Beobachtungen der Astronomie zu vergleichen, brauchen wir Computersimulationen, die die großräumige Struktur des Universums abbilden. Gleichzeitig sollten die Simulationen eine ausreichend hohe Auflösung haben, um die Bildung einzelner Galaxien wenigstens in groben Zügen nachzubilden. In diesen Simulationen wird die Materie durch Teilchen repräsentiert, die über die Schwerkraft miteinander wechselwirken. Kollisionen dieser Teilchen werden dabei vermieden, weil diese Teilchen nicht physikalisch existieren, sondern nur als numerisches Hilfsmittel dienen. Ein großes Hindernis hierbei ist es, den sogenannten dynamischen Umfang aufzulösen. Er wird benötigt, weil ein repräsen-

tatives Volumen des Universums mindestens eine Million mal größer ist als das Volumen einer Galaxie, während die Materie innerhalb dieser simulierten Galaxien auf das Zehntausendfache gegenüber der mittleren Materiedichte im Universum komprimiert wird. Es gibt jedoch eine wichtige Struktureigenschaft im Universum, die wir nutzen können. Die Struktur ist näherungsweise fraktal, was bedeutet, dass nur ein kleiner Teil des gesamten Universums in sehr dichte Strukturen wie Galaxien kollabiert. Der weitaus größte Teil des Universums wird von großen, unterdichten Regionen (sogenannten Voids) eingenommen, die zehntausendmal diffuser als Galaxien sind. Daher brauchen unsere Simulationen nur in einem kleinen Teil ihres Volumens eine hohe Auflösung. Wir können jedoch nicht voraussagen, welche Regionen im simulierten Volumen hochauflösend berechnet werden müssen.

Aus diesem Grund benutzen unsere Simulationscodes innovative Techniken, die vor etwa zwanzig Jahren entwickelt wurden. Die Codes entscheiden selbstständig und adaptiv während der Rechnung, welche Regionen aufgelöst werden sollen und für welche eine grobe Auflösung ausreicht. Die zwei wichtigsten Techniken sind:

Erstens der *Tree-Algorithmus*, mit dem Teilchen zu Gruppen angeordnet werden, die „aus der Entfernung“ wie Punktteilchen wirken. Diese Gruppen sind hierarchisch so strukturiert, dass eine Gruppe mehrere Untergruppen enthält, die wiederum Unter-Untergruppen bilden und so weiter. Nur durch diese hierarchische Anordnung kann den enormen Auflösungsanforderungen in dichten Regionen entsprochen werden.

Zweitens die Technik des *adaptive mesh refinement*: Sie verwendet ein Gitter, auf dem die Materiedichte repräsentiert wird und das für die Berechnung der Schwerkraft genutzt wird (Abb. linke Seite). Dies kann man sich vorstellen wie ein Digitalfoto, nur dass hier Helligkeit und Farbe auf einem dreidimensionalen Raster repräsentiert wird. Das Gitter hat nicht überall im Volumen dieselbe Auflösung: Voids werden nur mit einem groben Raster überdeckt, während die Auflösung nur für die Umgebung von Galaxien erhöht wird. Dabei entscheidet der Code bei jedem einzelnen Zeitschritt, an welchen Punkten die Auflösung erhöht und an welchen sie wieder zurückgefahren werden muss. An solchen Punkten werden zusätzlich höher aufgelöste, aber räumlich eng begrenzte Gitter angelegt. Diese sind – analog den Gruppen im *Tree-Algorithmus* – hierarchisch angeordnet.

Beide Techniken haben Vor- und Nachteile und kommen für verschiedene Anwendungen zum Einsatz. Eine weitere Möglichkeit bietet das sogenannte verteilte Rechnen. Heutzutage sind die meisten Simulationen zu groß, um im Arbeitsspeicher eines einzelnen Rechners gespeichert werden zu können, selbst wenn dieser hunderte Gigabyte umfasst. Stattdessen können moderne Codes auf mehreren Rechnern gleichzeitig laufen. Jeder Rechner bekommt dabei einen Teil des Volumens zugewiesen. Die Wechselwirkungen zwischen den Teilvolumina werden von den Rechnern untereinander mit speziellen Protokollen kommuniziert. Dabei muss eine automatisierte Zuteilung zwischen den Rechnern erfolgen, damit jeder einzelne von ihnen möglichst voll ausgelastet ist.

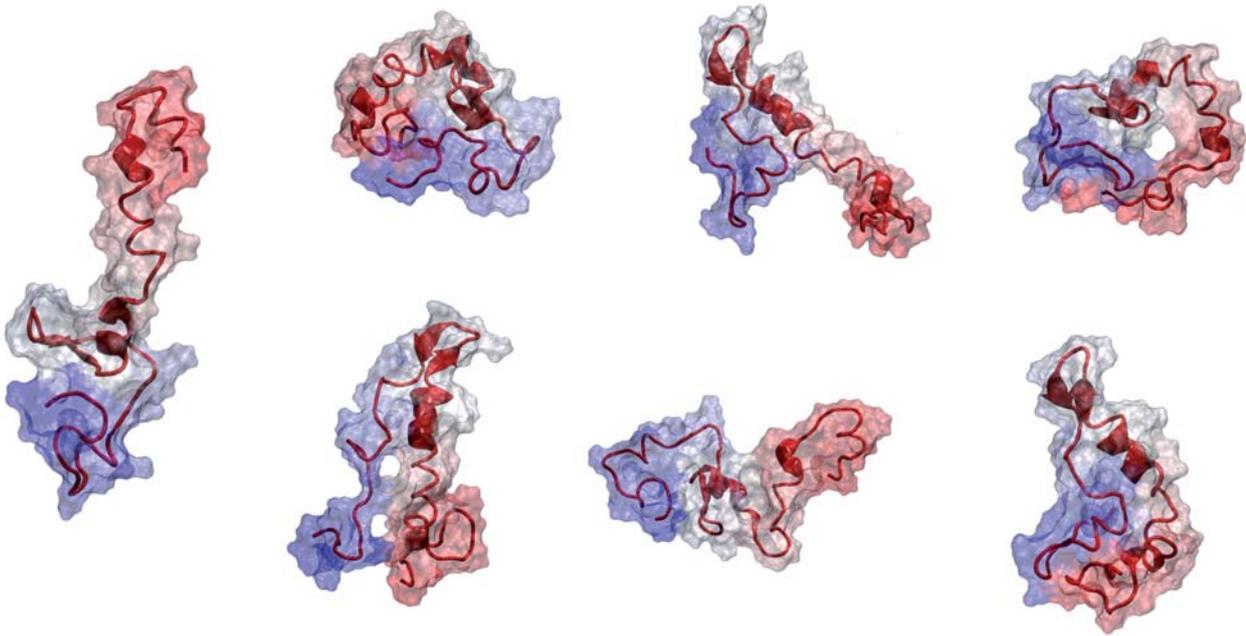
Computersimulationen sind zu einem unabdingbaren Werkzeug in der Kosmologie geworden. Sie erlauben uns aber nicht nur, die Natur auf den größten Skalen besser zu verstehen, sondern auch auf den kleinsten, wie die Molekulardynamik zeigt. Eine der interessantesten Fragen auf diesem Gebiet ist, wie Leben aus der Interaktion von unbelebten Molekülen entsteht.

MOLEKULARDYNAMIK

Letztendlich sind Lebewesen aus Atomen aufgebaut, die zu besonders komplexen Molekülen verknüpft sind, die wiederum miteinander in Kontakt stehen und sich gegenseitig beeinflussen. Aus diesem Zusammenspiel entstehen Zellwachstum, Stoffwechsel, Fortpflanzung und Interaktion mit der Umgebung, kurz: Leben. Moleküle sind jedoch keineswegs starre Gebilde, vielmehr verändern sie kontinuierlich ihre dreidimensionale Form. Man kann sich tatsächlich vorstellen, dass diese Moleküle wie Maschinen agieren, die durch die Bewegung ihrer Teile eine Aufgabe erfüllen.

Die Abbildung auf Seite 22 zeigt verschiedene dreidimensionale Formen, sogenannte Konformationen, eines Teils des Proteins p27. In Rot ist das Rückgrat des Proteins dargestellt, das sich wie ein Band in verschiedene Formen legt. Die Oberfläche des Moleküls ist als durchscheinende Hülle gezeigt. Das Protein p27 ist wesentlich an der Regulation der Zellteilung beteiligt und funktioniert gerade aufgrund seiner Flexibilität. Es kann sich genau an seinen Gegenspieler, eine Cyclin-abhängige Kinase, anpassen und anlagern. In vielen Tumorzellen ist p27 in nur geringen Mengen vorhanden oder wird so schnell abgebaut, dass sich die Tumorzellen viel schneller teilen als gesunde Zellen. Es gibt eine Reihe von experimentellen Methoden, um die Konformationsdynamik eines Moleküls zu untersuchen. Röntgenbeugungsexperimente liefern atomgenaue Bilder einzelner Konformationen, sagen aber nichts über die Dynamik des Moleküls aus. Spektroskopische Experimente liefern Durchschnittswerte des konformationellen Ensembles. Aus Einzelmolekülexperimenten erhält man die zeitliche Entwicklung eines einzelnen Abstands in einem Molekül. Allerdings ist es nahezu unmöglich, allein aus den experimentellen Daten ein komplettes Bild der Konformationsdynamik zu rekonstruieren. Dafür brauchen wir molekulardynamische Simulationen.

Für diese Simulationen werden die Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen den Atomen aus physikalischen Modellen genutzt. Wir modellieren die Atome als Massepunkte, die eine Ladung tragen und miteinander in Wechselwirkung treten können. Eine neue Anordnung der Atome im Raum entspricht einer neuen Konformation. Die Bewegung der Atome wird dabei durch die Gesetze der klassischen Mechanik bestimmt.



*Verschiedene Konformationen eines (intrinsisch ungeordneten) Proteins.
Das Proteinrückgrat ist in Rot gezeigt, die Proteinoberfläche als durchscheinende Hülle.*

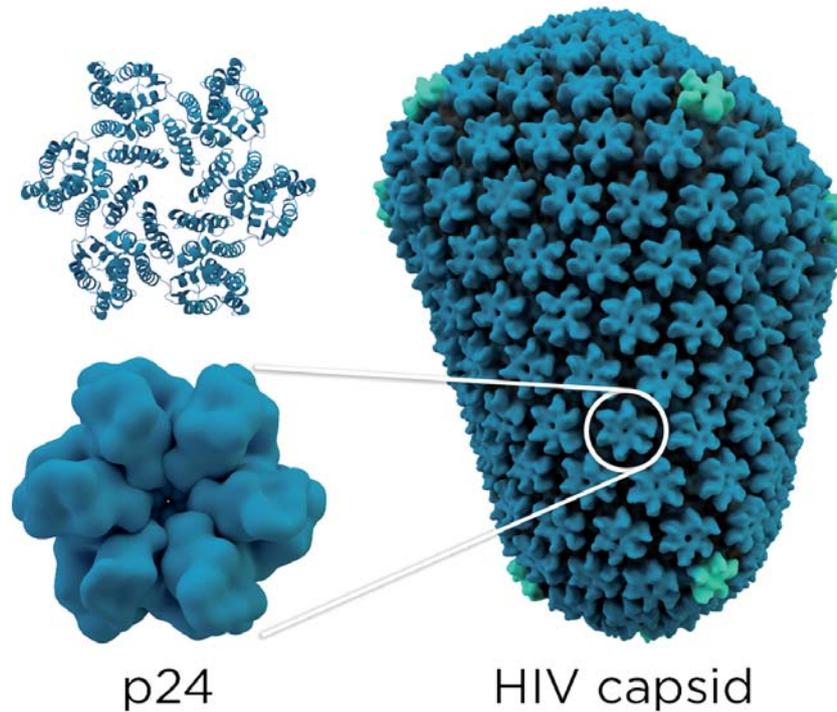
Ausgehend von der aktuellen Konformation berechnet das Simulationsprogramm die Kräfte auf jedes einzelne Atom und bewegt die Atome entlang dieser Kräfte für einen kleinen Zeitschritt Δt . Die neue Konformation wird zwischengespeichert und die Kräfte werden neu berechnet. Durch Iterieren dieses Algorithmus erhält man eine Art Film der Konformationsdynamik.

Wieso braucht man für einen scheinbar so simplen Algorithmus Supercomputer? Die Anzahl der Zeitschritte ist hier das kritische Stichwort: Die Konformationsdynamik eines großen Moleküls findet auf einem sehr breiten Spektrum von Zeitskalen statt. Zwei Atome schwingen entlang ihres Bindungsabstands in Femtosekunden- (10^{-15} s), während eine große Konformationsänderung in mehreren Millisekunden (10^{-3} s) stattfinden kann. Die schnellen Bindungsschwingungen legen den Zeitschritt auf etwa zwei Femtosekunden fest. Leider ist es nicht möglich, diesen Zeitschritt wesentlich zu vergrößern, ohne dass sich die Genauigkeit der Simulation erheblich verschlechtert. Da wir die Anzahl der Zeitschritte nicht reduzieren können, müssen wir

jeden einzelnen Zeitschritt sehr schnell berechnen. Das gelingt mit Supercomputern.

Wir haben die Konformationsdynamik des in der obigen Abbildung gezeigten Proteins auf einer Zeitspanne von 45 Mikrosekunden (10^{-6} s) auf dem HLRN-III Supercomputer Konrad simuliert. Für diese Rechnung mussten 22,5 Milliarden Zeitschritte berechnet werden. Das ist in etwa so, als wollte man die Geschichte eines Ortes dokumentieren, indem man jede Stunde ein Bild macht. Bei 22,5 Milliarden Bildern würde die Bilderserie über 2,5 Millionen Jahre zurückreichen, als noch Säbelzahniger und Mammuts die Erde bevölkerten.

Mit „nur“ 130.000 Atomen gehört unsere Simulation bei weitem nicht zu den größten. Ein Meilenstein der Molekulardynamik-Simulationen ist eine 2013 veröffentlichte Studie zum Kapsid des HI-Virus (siehe oben). Kapside sind Hüllen aus einer Vielzahl von Proteinen, in denen Viren ihre DNA in den Zellkern des Wirtsorganismus schleusen. Die Hüllen sind außerhalb des Zellkerns sehr stabil, zerfallen aber, sobald sie den Zellkern



HIV-Kapsid bestehend aus Protein-Hexameren und Pentameren. Eine Molekulardynamik-Simulation zeigte, dass die Oberfläche dieses Kapsids nicht starr ist, sondern dass sich die molekularen Bausteine leicht gegeneinander verschieben.

erreicht haben, in ihre Bestandteile und geben die DNA frei. Der Grundbaustein des Kapsids ist das capsid protein (auch p24 genannt, die Namensähnlichkeit mit p27 ist Zufall). Jeweils sechs beziehungsweise fünf dieser Proteine lagern sich zu Hexonen (blau) und Pentonen (türkis) zusammen, aus denen wiederum das vollständige Kapsid aufgebaut ist.

Die Simulation, die in der Arbeitsgruppe von Klaus Schulten am Supercomputer Blue Waters an der University of Illinois at Urbana-Champaign durchgeführt wurde, enthielt insgesamt über 1300 Proteine. Zusammen mit dem umgebenden Wasser enthielt die Simulationsbox etwa 64 Millionen Atome, deren Bewegung für einen Zeitraum von 100 Nanosekunden simuliert wurde. Das entspricht immerhin 50 Millionen Zeitschritten. Die Simulation zeigte, dass die Hexamere und die Pentamere sich in der Kapsidhülle leicht verschieben können. Die entstehenden Mulden in der Kapsid-Oberfläche könnten vielversprechende Angriffspunkte für die Entwicklung neuer HIV-Medikamente sein.

Hochleistungsrechner haben ihren festen Platz in den modernen Naturwissenschaften. Die beiden von uns beschriebenen Anwendungen versuchen, das Verhalten extrem komplexer Systeme durch die Simulation von wechselwirkenden Teilchen besser zu verstehen. Während die zugrundeliegenden Ideen eng verwandt sind, sind die numerischen Herausforderungen verschiedener Natur: In der Molekulardynamik besteht das Problem in einer enormen Spanne von Zeitskalen, während es sich in der Kosmologie um eine enorme Spanne räumlicher Skalen handelt. In beiden Fällen müssen daher innovative Simulationstechniken eingesetzt werden, die das Leistungsvermögen heutiger Supercomputer voll ausschöpfen.

Bettina Keller und Fabian Schmidt sind seit 2016 Mitglieder der Jungen Akademie. Keller arbeitet am Institut für Chemie und Biochemie an der Freien Universität Berlin. Schmidt forscht am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching.

MACHT SCHOKOLADE SCHLAU?

Korrelation bedeutet nicht Kausalität, heißt es. Trotzdem lassen sich mit Hilfe mathematischer Methoden kausale Strukturen nachweisen.

TEXT JONAS PETERS

Je mehr Schokolade in einem Land gegessen wird, desto größer ist die Anzahl der Nobelpreisträgerinnen und -träger. Doch bedeutet dies, dass der Verzehr von Schokolade die Chance auf einen Nobelpreis erhöht? Um diese Frage zu beantworten, müsste man in einigen zufällig ausgewählten Ländern Schokolade verteilen und später untersuchen, ob sich die Anzahl der Nobelpreise für dieses Land erhöht hat. Auch wenn sich manch ein Studierender über die Einführung einer Zwei-Tafeln-Schokolade-pro-Tag-Politik freuen würde, ist solch ein Experiment kaum durchzusetzen.

In anderen Situationen scheitern derartige Interventionen aus ethischen, physikalischen oder finanziellen Gründen. Viele Forschende glauben, dass man ohne sorgfältig durchgeführte, randomisierte Experimente nichts über kausale Zusammenhänge herausfinden kann. Denn aus einem statistischen Zusammenhang lässt sich nicht so einfach auf einen kausalen Zusammenhang schließen – daran erinnert der Ausdruck „correlation does not imply causation“, Korrelation bedeutet nicht Kausalität. Aktuelle Forschungsprojekte zur kausalen Inferenz versuchen, diese Auffassung zu widerlegen. Es werden Methoden entwickelt, um kausale Beziehungen zwischen gleichzeitig beobachteten Größen zu erkennen, selbst ohne aktiv in das System einzugreifen. Diese Methoden basieren zum Beispiel auf der Idee, dass reale Zusammenhänge nicht beliebig komplex sind. Wären sie es, könnte Facebook nicht vorhersagen, welche Geschichten einen Nutzer interessieren. Google wüsste nicht, wonach wir suchen, und unser Smartphone würde unsere Spracheingabe nicht verstehen.

Dieses Prinzip der einfachen Zusammenhänge kann man auch in der kausalen Inferenz ausnutzen: Wenn man einfach erklä-

ren kann, wie Y aus X entsteht, dann muss in vielen Fällen die Konstruktion von X aus Y besonders komplex sein. Dies ist etwas überraschend, lässt sich aber mathematisch beweisen. Das einfachere Modell schlagen wir dann als kausales Modell vor. In der Praxis können wir uns also auf einfache Modelle beschränken und schauen, ob Daten besser durch ein Modell von X nach Y, von Y nach X oder durch keines der beiden erklärt werden. Es ist nicht überraschend, dass im Schokoladenbeispiel die Daten keinen einfachen kausalen Zusammenhang nahelegen: Weder hat der Schokoladenkonsum einen kausalen Einfluss auf die Anzahl der Nobelpreise, noch beginnt man, riesige Mengen Schokolade zu essen, sobald man den Nobelpreis bekommt. Vielmehr erwarten wir eine unbeobachtete Variable wie die wirtschaftliche Stärke eines Landes, die einen Einfluss auf beide Größen hat – also auf Schokoladenkonsum und die Anzahl der Nobelpreisträger.

Interessante wissenschaftliche Probleme beschäftigen sich meist mit mehr als zwei Variablen. So versucht man in biologischen Interaktionsnetzwerken, die Folgen einer Intervention vorherzusagen: Was passiert, wenn man bestimmte Gene löscht oder Proteine deaktiviert? Hier sind kausale Methoden von Interesse, weil es oft zu viele mögliche Interventionen gibt, um sie alle ausprobieren zu können. Basierend auf dem oben beschriebenen Prinzip des einfachen Modells möchten wir herausfinden, welche kausale Struktur die Daten am besten erklärt. Allerdings ist es unmöglich, alle Strukturen zu testen, da deren Anzahl schlicht zu groß ist – selbst dann, wenn man gerichtete Zyklen, also Feedback, und versteckte Variablen ausschließt: Bei zwei Variablen X und Y gibt es drei Möglichkeiten (X verursacht Y, Y verursacht X, kein kausaler Zusammenhang); bei drei Variablen X, Y und Z gibt es 25 mögliche Kausalstrukturen und bei 13 Variablen bereits



François Schuiten illustriert Lewis Fry Richardsons Idee der „forecast factory“: Tausende Menschen lösen gleichzeitig und gemeinsam Differentialgleichungen, um eine globale Wettervorhersage zu liefern.

18676600744432035186664816926721. Vor knapp hundert Jahren entwarf der Mathematiker, Physiker und Meteorologe Lewis Fry Richardson eine der ersten Architekturen zum sogenannten Parallelen Rechnen, mit der er die numerische Wettervorhersage verbessern wollte (die damals noch nicht rechnerbasiert stattfand). Er stellte sich eine riesige Halle vor, in der tausende menschliche „Computer“ gleichzeitig Differentialgleichungen zu Druck oder Temperatur für einen ihnen zugewiesenen kleinen Teil der Erde lösen, was François Schuiten in einem Bild illustrierte.

Mit dieser Idee war Richardson seiner Zeit weit voraus: Tatsächlich wurden für viele Jahre die größten Rechner der Welt für die Wettervorhersage eingesetzt. Seine Idee hilft uns auch dabei, das beste (und damit kausale) Modell zu finden. Eine oft angewandte Strategie besteht darin, mit einer beliebigen kausalen Struktur zu beginnen und mit jedem einzelnen Schritt zu überprüfen, ob man die erhobenen Daten noch besser erklären kann – etwa wenn die Struktur leicht verändert wird, indem man beispielsweise die Kausalbeziehungen zwischen zwei Variablen umdreht

oder weglässt. Und all diese möglichen Veränderungen werden gleichzeitig von den vielen Prozessoren eines Hochleistungsrechners überprüft. So lassen sich selbst Probleme nicht nur mit 13, sondern mit tausenden Variablen untersuchen. Die kommenden Jahre werden zeigen, inwieweit solche kausale Methoden dabei helfen können, reale Systeme besser zu verstehen. Richardson sah den Nutzen des Parallelen Rechnens in der Berechnung großer, deterministischer Systeme. Heutzutage ist Parallelisierung etwa aus der Datenverarbeitung (maschinelles Lernen, data science) nicht mehr wegzudenken. Firmen wie Google und Facebook könnten ihre riesigen Datenmengen ohne Parallelisierung nicht verarbeiten. Auch das Auffinden kausaler Strukturen wäre ohne Paralleles Rechnen unmöglich – es wird in diesen Gebieten wohl für viele Jahre eine große Rolle spielen. Dass eines Tages die Aufgabe der „Computer“ nicht von Menschen, sondern von winzigen elektronischen Prozessoren durchgeführt wird, damit hatte Richardson sicher nicht gerechnet. ❁

Jonas Peters, Mitglied der Jungen Akademie seit 2016, arbeitet am Department of Mathematical Sciences an der University of Copenhagen.

ERKUNDUNGEN AM HIMMEL

Die Atmosphärenphysiker Bernadett Weinzierl und Leonhard Scheck berichten, warum selbst die besten Computer bis heute an einer genauen Wettervorhersage scheitern

INTERVIEW MIRIAM AKKERMANN

JAM: Leonhard, wie würden Sie Ihre Forschungsarbeit beschreiben?

Leonhard Scheck: In meiner Arbeit geht es darum, Satellitenbilder für die Verbesserung der Wettervorhersage zu nutzen. Eine ganze Reihe von Wettersatelliten senden alle paar Minuten Bilder von der Erde, die sehr viele Daten über Wolken, Luftfeuchtigkeit und Temperatur enthalten. Teilweise werden diese Daten bereits genutzt und fließen mittels der sogenannten Datenassimilation in die Wettervorhersage ein. Dieser wichtige Schritt der Wettervorhersage, der aufwendige Berechnungen auf Hochleistungsrechnern erfordert, nutzt die Ergebnisse von Messungen, um den aktuellen Zustand der Atmosphäre präziser festzustellen. Je genauer dieser bekannt ist, desto besser werden im Allgemeinen die Vorhersagen. Satellitenbilder im infraroten Wellenlängenbereich haben sich dabei als besonders relevant herausgestellt, da sie für die ganze Erde Auskunft über Luftfeuchtigkeit und Temperatur geben. Auch Satellitenbilder im sichtbaren Wellenbereich enthalten wichtige Informationen, die nicht in den Infrarotbildern enthalten sind. Sie zeigen Wolken und deren Eigenschaften, etwa die vorherrschende Tröpfchengröße und ob es sich um Wasser oder Eiskristalle handelt. Anders als bei den Infrarotaufnahmen lassen sich diese Informationen jedoch noch nicht so leicht aus den Bildern gewinnen. Deswegen gehen sie auch noch nicht in die Wettervorhersage ein. Momentan berechne ich aus den Daten, die das Wettervorhersagemodell liefert, synthetische Satellitenbilder. Diese werden anschließend mit den tatsächlichen Satellitenbildern abgeglichen. Aus den Unterschieden lässt sich schließen, wie der Zustand der Atmosphäre im Computermodell geändert werden

muss, damit er sich der Realität annähert. Letztlich sollte sich dadurch zum Beispiel die Vorhersage von Gewittern verbessern.

JAM: Bernadett, was ist der Schwerpunkt Ihrer Forschung?

Bernadett Weinzierl: Aktuell untersuchen mein Team und ich den Einfluss von Aerosolpartikeln auf die Atmosphäre und das Klima. Wir bereiten gerade die groß angelegte Flugzeugmesskampagne A-LIFE vor, die im Frühjahr 2017 über Zypern stattfinden wird. Um Daten aus verschiedenen Höhen erhalten zu können, optimieren wir Messgeräte, die wir in ein Forschungsflugzeug bauen. Damit fliegen wir in die Atmosphäre, wo wir beispielsweise in der Troposphäre (zwischen etwa null und zwölf Kilometern über der Erdoberfläche) Schichten mit erhöhten Mineralstaub- oder Rußkonzentrationen vorfinden. Diese stammen aus der Sahara, gelangen von großen Waldbränden in den USA oder Kanada oder aus großen Ballungsräumen zu uns. Nach dem Ausbruch des Eyjafjallajökull-Vulkanes haben wir 2010 gemessen, in welcher Höhe wie viel Vulkanasche aus Island zu uns transportiert wurde. Grundsätzlich tragen sowohl natürliche als auch vom Menschen verursachte Quellen zur Partikelbelastung in der Atmosphäre bei. Man geht davon aus, dass circa 20 bis 40 Prozent der sogenannten optischen Dicke – einem Maß für die Trübung der Atmosphäre durch Aerosolpartikel – aus anthropogenen Quellen kommen. In einem sich wandelnden Klima könnten sich die Emissionen von natürlichen Aerosolpartikeln stark ändern. Jedoch kommen verschiedene Studien zu widersprüchlichen Aussagen. Es ist unklar, ob in einem wärmeren Klima beispielsweise die Emission von Mineralstaub ab- oder zunimmt.



Leonhard Scheck forscht am Hans-Ertel-Zentrum für Datenassimilation des Meteorologischen Instituts der LMU München.



Bernadett Weinzierl, Mitglied der Jungen Akademie seit 2014, ist Professorin für Aerosol- und Clusterphysik und Leiterin der Aerosol- und Umweltphysik an der Fakultät für Physik der Universität Wien.

DIE ATMOSPÄRENPHYSIKER

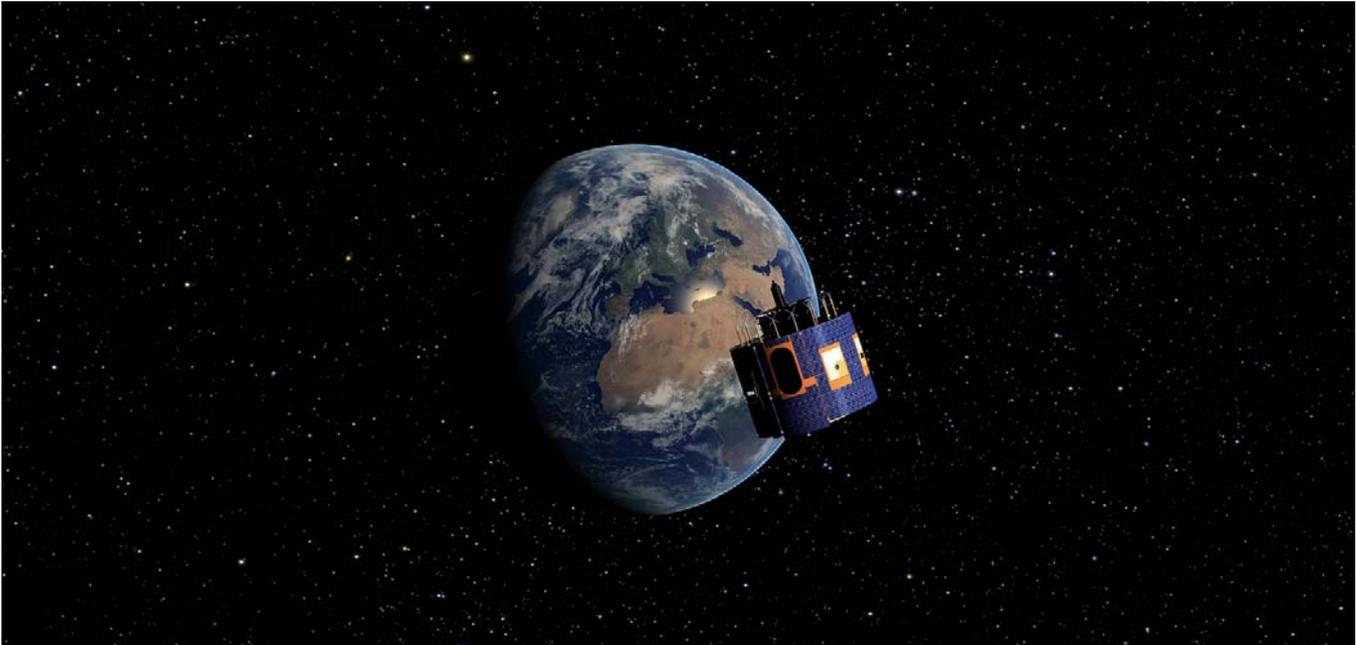
JAM: Könnte das auch Auswirkungen auf die Wettervorhersagbarkeit haben?

Bernadett Weinzierl: Durchaus. Wenn etwa in Wien oder München viel Saharastaub über der Stadt liegt, stimmt die Wettervorhersage in der Regel nicht mehr. Ein Grund dafür ist, dass die meisten Prognosemodelle den Effekt der Aerosolpartikel auf die Atmosphäre noch nicht berücksichtigen. Deshalb ist es wichtig, dass wir Messungen durchführen, um Staubeigenschaften wie Größe, Form und chemische Zusammensetzung der Partikel sowie deren Veränderungen während des Transportes zu untersuchen und die daraus gewonnenen Daten in die Wettervorhersage einbeziehen.

JAM: Was machen Sie mit dieser Unmenge an Daten, die heute zur Verfügung stehen?

Leonhard Scheck: Durch Fortschritte bei den Datenassimilationsmethoden und die Weiterentwicklung der Hochleistungsrechner kann zumindest ein Teil dieser Unmenge an

Beobachtungsdaten verarbeitet werden und fließt in die Wettervorhersage ein. Einige der weltweit schnellsten Supercomputer werden dazu eingesetzt, und das zahlt sich aus: Allein durch die Assimilation von Satellitenbeobachtungen hat sich die Wettervorhersage in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verbessert. Zusammen mit Verbesserungen an den Vorhersagemodellen hat das dazu geführt, dass eine 5-Tages-Vorhersage im Schnitt heute schon so genau ist wie es eine 3-Tages-Vorhersage vor 20 Jahren war. Trotz der verbesserten Hochleistungsrechner können jedoch nicht alle Daten genutzt werden. Denn durch Fortschritte bei den Messinstrumenten wächst auch die Flut an Beobachtungsdaten stetig an. Daher versucht man sich bei der Assimilation auf den Teil der Daten zu beschränken, der am stärksten zur Verbesserung der Vorhersage beiträgt. Einige Beobachtungen, wie die schon erwähnten sichtbaren Satellitenbilder, werden aus einem anderen Grund nicht assimiliert: Ihre Interpretation ist extrem aufwendig und würde mit herkömmlichen Methoden auch auf den nächsten Generationen von Hochleistungsrechnern zu lange dauern. In diesen Fällen ist Hochleistung auf einem anderem Gebiet notwendig, nämlich auf jenem der Entwicklung



Scheck arbeitet mit Daten des EUMETSAT Meteosat Second Generation.

wesentlich effizienterer Methoden. Diese werden dazu führen, dass in Zukunft ein größerer Anteil der Datenflut genutzt werden kann.

JAM: Macht es trotzdem Sinn, mehr Daten zu sammeln, als man derzeit verwenden kann?

Bernadett Weinzierl: Ja, denn mit der Weiterentwicklung von Analysealgorithmen kann man die erhobenen Daten immer schneller und umfassender auswerten und oft stellen sich bei der Auswertung von Datensätzen neue Fragen, die mit den zusätzlich erhobenen Daten untersucht werden können. In der Regel beginnt man aber ein Projekt mit einer konkreten Forschungsfrage, überlegt sich, welche Daten man zur Beantwortung dieser Frage erheben muss und arbeitet mit dem erhobenen Datensatz an der gestellten Forschungsfrage. In einem gut geplanten Projekt lässt sich die Mehrheit der Daten auswerten. Bei einem Saharastaub-Projekt der DFG-Forschergruppe SAMUM war der Datensatz so hervorragend, dass wir innerhalb der Forschergruppe mehr als siebenzig Publikationen veröffentlichen konnten und selbst zehn Jahre nach dem Flugzeugexperiment noch mit den damals erhobenen Daten arbeiten. Zuweilen lassen sich aber nicht alle Daten auswerten, weil bereits ein neues Projekt ansteht.

JAM: Wie eng sind Forschung und praktische Anwendung miteinander verknüpft?

Leonhard Scheck: Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung arbeitet eng mit dem Deutschen Wetterdienst zusammen. Wir betreiben Grundlagenforschung im Bereich der Datenassimilation und entwickeln Methoden, die die Wettervorhersage verbessern sollen. Unser Ziel besteht darin, diese Methoden für den operationellen Wettervorhersagebetrieb nutzbar zu machen. Bei der Assimilation sichtbarer Satellitenbilder gibt es derzeit noch viele grundsätzliche Fragen zu klären, aber in einigen Jahren sollte das Verfahren so weit ausgereift sein, dass es von den Wetterdiensten benutzt werden kann.

Bernadett Weinzierl: Viele Entwicklungen der Forschung finden zu einem Zeitpunkt statt, an dem noch nicht klar ist, welche praktische Anwendung die Entdeckung haben wird. Manchmal kommen grundlegende Methoden schnell zur Anwendung. Als 2010 der Eyjafjallajökull auf Island ausbrach, haben wir sehr von unserer Grundlagenforschung zum Saharastaub und den dabei entwickelten Messmethoden profitiert und waren dadurch in der Lage, schnell Informationen zur Ausbreitung und den Eigenschaften der Vulkanasche zu liefern. Vulkanasche ist in einigen Aspekten dem Saharastaub ähnlich und hat ebenfalls eine recht große Teilchengröße zwischen zehn bis 30 Mikrometer. Zum Vergleich: Das menschliche Haar hat einen Durchmesser von hundert Mikrometern.

JAM: Wo liegen die Grenzen der Vorhersagbarkeit?



Weinzierl nutzt oft Messungen des DLR-Forschungsflugzeugs Dassault Falcon 20E.

Leonhard Scheck: Großwetterlagen lassen sich eine Woche im Voraus ganz gut prognostizieren. Wenn es aber im Sommer zu Gewittern kommt, kann man selbst Stunden vorher kaum sagen, wo genau und wie stark sie niedergehen werden. Je kleiner die Skalen, desto geringer ist die Vorhersagbarkeit. Das Gegenbeispiel sind Klimasimulationen: Da geht es um Statistiken auf größeren räumlichen und zeitlichen Skalen, zum Beispiel wie oft welche Großwetterlage auftritt und wie hoch die monatliche Durchschnittstemperatur ist. Die Vorhersagbarkeit dafür ist viel höher und die Änderung des Klimas kann daher über Jahrzehnte hinweg berechnet werden.

Dass sich die Großwetterlage nicht weiter als etwa 14 Tage vorhersagen lässt, liegt nicht an den Methoden, sondern vor allem an der Natur: Die Gleichungen, welche die Atmosphäre beschreiben, sind chaotisch. In einem chaotischen System können kleinste Abweichungen im Anfangszustand enorme Änderungen im Endzustand hervorrufen. Wenn ich also eine Vorhersage mache und es stimmt am Anfang an irgendeinem Punkt die Temperatur nur um ein Grad nicht, dann kann mein Vorhersagemodell noch so gut sein: In den kommenden zwei Wochen wird das Wetter in einer unvorhersehbaren Weise von der Prognose abweichen. Da trifft die Meteorologen keine Schuld.

Im Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung stellen wir uns die Frage, wie nah man mit Wettervorhersagemodellen an diese Grenze der Vorhersagbarkeit heranrücken kann. Um näher an diese Grenze zu kommen, braucht es zum einen verbesserte Assimilationsmethoden, um mehr Beobachtungen besser nutzen

zu können. Zum anderen muss berücksichtigt werden, dass in den Modellen diverse Vereinfachungen stecken. Ohne diese wäre es auch auf Hochleistungsrechnern nicht möglich, eine Vorhersage schnell genug zu berechnen. Sie führen aber auch zu unvermeidlichen Fehlern, die in der Datenassimilation berücksichtigt werden müssen und in weiterentwickelten Modellen reduziert werden sollten.

Bernadett Weinzierl: Mein Blick richtet sich mehr auf die Grenzen der Messbarkeit. Wir haben kürzlich mit der NASA zusammen ein Projekt durchgeführt, das sich damit beschäftigte, inwieweit sich Biotreibstoffe auf die Emissionen von Flugzeugen auswirken – und zwar im Vergleich zu herkömmlichen Jettreibstoffen. Um die Veränderungen der Partikelemissionen in Abhängigkeit vom Treibstoff zu messen, muss man in die Abgase von Flugzeugen hineinfliegen, was der Crew Hochleistungen abverlangt. Denn man muss einem vorausfliegenden Flugzeug in einem Abstand von weniger als hundert Metern folgen. Beträgt der Abstand jedoch einige hundert Meter, dann können die Turbulenzen so stark werden, dass das Messflugzeug gefährdet wäre. Durch eine gute Planung der Messflüge erreichen wir zwar unsere wissenschaftlichen Ziele, minimieren aber die Risiken für die Crew. ❁

Das Gespräch führte Miriam Akkermann. Sie ist Musikwissenschaftlerin und seit 2015 Mitglied der Jungen Akademie.

KOMMENTAR

Impact? Warum der wissenschaftliche Nachwuchs nicht an seinen Zitationen gemessen werden sollte

TEXT TOBIAS J. ERB



Was ist wissenschaftliche Hochleistung und wie lässt sie sich quantifizieren? Seit einigen Jahren gibt es vor allem in den Naturwissenschaften verschiedene Versuche, wissenschaftliche Leistungen objektiv zu messen. So werden beispielsweise Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen mit bibliometrischen Kennzahlen wie einem *Impact Factor* oder einem *Eigenfactor* belegt. Publikationen in hochrangigen Journalen gelten dabei als besonders wertvoll.

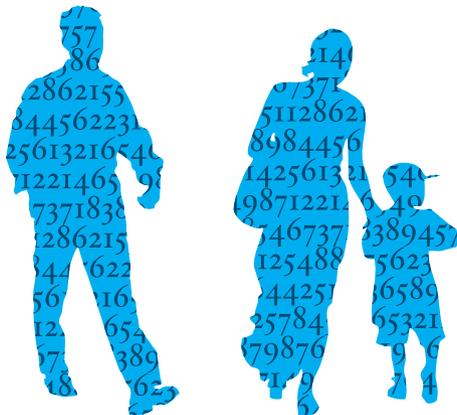
Auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden immer häufiger nach ihrem *io-index*, *Hirsch-* beziehungsweise *b-index* oder auch dem *g-index* bewertet. Diese Zahlen versuchen die Bedeutsamkeit von Forschenden anhand der Anzahl ihrer Publikationen und deren Zitationen zu beziffern. Seit Neuestem gibt es den *altmetric attention score*, der den Einfluss wissenschaftlicher Arbeiten aufgrund ihrer öffentlichen und medialen Aufmerksamkeit bemisst. Jeder Zeitungsartikel, jede Erwähnung in einem Blog oder Tweet erhöht den *attention score* automatisch um eine definierte Punktzahl.

All diese verschiedenen Maßeinheiten versuchen in der einen oder anderen Weise das Gleiche: Sie wollen aus bibliometrischen Parametern den Impact eines Forschenden und seiner Arbeiten ableiten, den Wert eines Wissenschaftlers oder einer Wissenschaftlerin bestimmen. Die Algorithmen, Faktoren, Indizes und

Scores sollen objektiv sein. Doch am Ende steht eine einfache Zahl, nach der wir in Gutachten vergleichen, sortieren und ranken. Was aber noch viel problematischer ist: Anhand dieser Zahlen wird versucht, aus den abgeschlossenen Arbeiten einer Wissenschaftlerin oder eines Wissenschaftlers den Erfolg und die Bedeutung ihrer nächsten Forschungsprojekte vorherzusagen. Die Mehrzahl dieser quantitativen Faktoren wurde erst im vergangenen Jahrzehnt eingeführt (siehe Tabelle), und sie gewinnen immer mehr an Gewicht. Meine Generation ist damit die erste, deren Karriere stark nach diesen Kriterien bewertet wird und sich dementsprechend ausrichten muss. Aber sind diese Zahlen wirklich das richtige Maß für junge Forschende, die am Anfang ihrer Karriere stehen? Dürfen wir uns nur an diesen Zahlen messen lassen? Spornen sie uns nicht zu eher kurzfristigen Erfolgen an? Und drängen sie uns nicht dazu, vermehrt in Forschungsfelder zu gehen, in denen sich schnell und mit viel Impact publizieren lässt?

Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn ist kein Spurt. Er braucht Zeit. Manchmal sogar sehr viel Zeit und Vertrauen. Gerade wenn wir neue Forschungsfelder erschließen und wissenschaftliches Neuland betreten. Es wäre daher traurig, wenn ein System, das von Individualität, Kreativität und Neugier auf das Unbekannte lebt, vermehrt Konformisten hervorbringt, die Forschung *für* einen schnell zählbaren Impact anstatt Forschung *mit* langfristigem Impact betreibt.

Bedeutende Wissenschaft erzeugt Impact, aber umgekehrt gilt diese Korrelation nicht uneingeschränkt. Denn Quantität und Qualität sind nicht dasselbe. Sollte für Forscherinnen und Forscher zu Beginn einer Karriere nicht deren Vision im Vordergrund stehen? Es wäre zu wünschen, dass die wissenschaftliche



DIE BEKANNTESTEN BIBLIOMETRISCHEN KENNZAHLEN

1955 | **Impact Factor**

(Garfield; Science 122:108-111)

2005 | **h-index**

(Hirsch; PNAS 102:16569-72)

2006 | **g-index**

(Egghe; Scientometrics 69:131-152)

2008 | **Eigenfactor**

(Bergstrom, West, Wiseman;
J Neurosci 28:11433-11434)

2009 | **e-index**

(Zhang; PLoS ONE 4:e5429)

2010 | **i10-index**

(Google Scholar)

2010 | **altmetrics**

(Priem, Taraborelli, Groth & Neylon;
<http://altmetrics.org/manifesto>)

2011 | **Twimpact Factor**

(Eysenbach JMIR 13:e123)

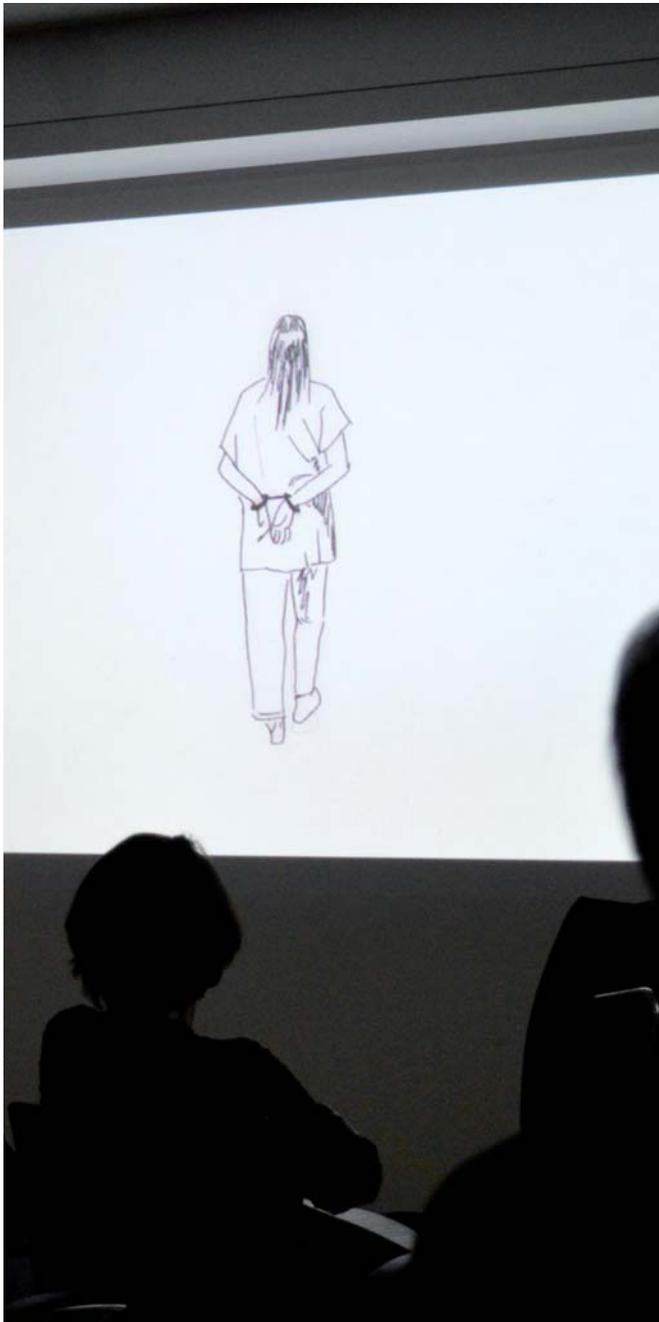


Gemeinschaft Jungforscherinnen und Jungforscher anhand ihrer neuen (und hoffentlich revolutionären) Hypothesen fördert, anstatt zu versuchen, die vergangenen Meriten einer sehr kurzen Karriere anhand dafür eher ungeeigneter Parameter zu beurteilen. Denn gleichen wirklich innovative Forschende nicht viel eher Abenteurern als Planern? Wenn wir schon wissen, was das Ergebnis eines Experimentes sein wird, ist es dann noch eine Expedition in das Unbekannte? Kann solche Forschung noch Wissenssprünge generieren?

Wie wäre es daher mit einem *Ungewöhnlichkeits-Score*, einem *Innovations-Index* oder einem *Non-Konformitäts-Factor* für junge Forschende und ihre Hypothesen? Damit könnten wir Forschende nach dem zukünftigen, langfristigen Innovationsgewinn oder der Unvorhersagbarkeit ihrer Projekte und Ideen beurteilen.

Es ist wahrscheinlich nur eine schöne Utopie, dass es uns gelingt, in den nächsten Jahren unsere Förderkultur zu ändern und solche neuen Kennzahlen zu etablieren. Aber in unserer Funktion als Gutachter könnten wir uns bei der nächsten Begutachtungsrunde wieder darauf besinnen, was ein interessantes wissenschaftliches Problem und eine förderungswürdige Fragestellung ist, bevor wir uns über den Impact einer Person Gedanken machen.

Tobias J. Erb ist seit 2013 Mitglied der Jungen Akademie und forscht am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie und dem Zentrum für Synthetische Mikrobiologie in Marburg.



Szene aus „Eye for an Eye“ von Steve Bache,
Mabyar Goudarzi und Louise Peter

LAUFEN ALS METAPHER

Der Kurzfilmwettbewerb

„be a better being“ lotete den ewigen Drang des Menschen aus, ein besseres Wesen werden zu wollen

TEXT DEIDRE RATH

Unter keinem geringeren Motto als „be a better being“ stand das interdisziplinäre Filmforum, das am 17. und 18. November 2016 in der Deutschen Kinemathek in Berlin ausgerichtet wurde. Der Titel bildete sich in vielfältigen Beiträgen ab, die von einer individuellen Selbstoptimierung über das Streben nach Glück bis zu einer Neuausrichtung der gesellschaftlichen Grundordnung reichten. Von den eingesendeten 425 Kurzfilmen aus 54 Ländern gelangten 17 in die engere Auswahl und wurden im Rahmen mehrerer Podiumsdiskussionen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie von Filmschaffenden besprochen. Der Wettbewerb war ein Projekt der Jungen Akademie in Kooperation mit dem Kurzfilmfestival interfilm berlin, der Filmuniversität Babelsberg und der selbstorganisierten Filmschule filmArche. Er wurde 2016 von unserem Mitglied Philipp Kanske sowie den Alumnae Evelyn Runge und Magdalena Nowicka geleitet, von der Filmprojektentwicklerin Bobby Henzler koordiniert und von der Commerzbank-Stiftung ermöglicht.

Wie der einleitende Kurzfilm der US-amerikanischen Filmmacherin Regan Avery zeigte, eröffnet die digitale Welt neue Möglichkeiten, um über das eigene Selbst zu reflektieren. Der Trend zur Selbstoptimierung durch Tracking, also das ständige Überwachen der eigenen Gewohnheiten, ist zwar nicht neu,



Im Gespräch über subtile Arten der Selektion: Der Politikwissenschaftler Carsten Q. Schneider diskutiert mit der Filmemacherin Helene Moltke-Leth, dem Regisseur Christoph Saber und der Videokünstlerin Anna Henckel Donnersmarck (v. l. n. r.).



Gewinnerin des Publikumspreises: Helene Moltke Leth wurde für ihren Film „Running through Life“ ausgezeichnet. Die Urkunde überreichte Jan-Hendrik Olbertz von der Commerzbank-Stiftung.

lässt sich nun aber durch technische Neuerungen in größeren Dimensionen weiterdenken. Averbs Film erzählt von einer neuartigen, fiktiven App namens Enact, die den Menschen von den Entscheidungslasten des Alltags entbinden will: vom passenden Outfit für den Tag über die Freizeitgestaltung bis zum Liebesleben. Enact schreibt genau vor, welche Aktivitäten wann ausgeübt werden sollten, und ermöglicht es dem jeweiligen Menschen, die Person zu werden, die er immer sein wollte. Wer dabei Spontaneität vermisst, kann einen Zufallsgenerator aktivieren – so der etwas zynische Vorschlag im Film.

Was auf den ersten Blick wie ein Scherz wirke, sei gar nicht so weit von der Wirklichkeit entfernt, konstatierte die Soziologin Hilke Brockmann, die Professorin an der Jacobs University in Bremen ist. Tatsächlich werde gerade an einer vergleichbaren App namens „Happiness“ gearbeitet. Diese soll weniger die alltäglichen Aktivitäten eines Menschen ausspionieren, als untersuchen, welche Bedingungen vorherrschen müssen, damit Menschen glücklich sind. Der ständige Drang nach Selbstoptimierung, sagte Brockmann, könne aber durchaus auch den entgegengesetzten Effekt bewirken und in einer Sucht der permanenten Selbstdarstellung münden. Die ständige Kontrolle des eigenen Erscheinungsbildes lasse sich als „Impression Management“

zusammenfassen, einem Erklärungsmodell aus der Sozialpsychologie. Manch einer, der sich auf Facebook als glücklicher Mensch darstellt, sei lediglich sehr versiert in Sachen Selbstinszenierung.

Verschiedene Panels beschäftigten sich mit der Frage, welche Gesellschaftsform ihren Mitgliedern die Verwirklichung ihrer Ziele ermöglicht. Ist es wirklich die Demokratie, welche die entsprechenden Rahmenbedingungen schafft? Oder könnte gerade ein kapitalistisches System demokratische Prinzipien so weit unterlaufen, dass immer größere Bevölkerungsgruppen an den Rand gedrängt werden und diese somit an grundlegenden gesellschaftlichen Debatten nicht mehr teilhaben können? Man kann sich diese Frage auch auf globaler Ebene stellen. Denn die Kluft zwischen Arm und Reich entwickelt sich nicht nur innerhalb von nationalen Grenzen: Im Beitrag „The Learning Alliance“ begleitete der pakistanische Filmemacher Umar Saeed drei Brüder im Grundschulalter, die in Lahore in Pakistan Müll sortieren, um ihre Schulgebühren aufbringen zu können. Sie möchten ihre Zukunft aktiv gestalten und nehmen dafür in Kauf, unter jämmerlichen Bedingungen zu arbeiten. Denn nicht ein politisches System, sondern einzig Schulbildung kann an ihrer Situation etwas verändern.

Es mag an der Unbeständigkeit unserer Zeit liegen, dass sich viele Filmschaffende verstärkt Dystopien widmen. Der Wunsch nach Optimierung schließt auch ein, Menschen nach ihrer wirtschaftlichen Effektivität zu beurteilen. Was aber geschieht dann mit Menschen, die dieses Kriterium weniger erfüllen?

Diese Frage stellte der 15-minütige Kurzfilm „Mikelis“ des deutschen Filmemachers Marc Bethke. Vor der Kulisse eines Hotelzimmers Nr. 2020 resümiert der hochbetagte Protagonist Mikelis über die optimale Gesellschaft. Sein etwas spezielles Programm der Bevölkerungskontrolle hat Europa vor der Überalterung der Gesellschaft bewahrt, erzählt der Protagonist. Produktivität sei die Voraussetzung einer funktionierenden, kapitalistisch-orientierten Gesellschaft. Wer nicht produktiv sei, werde eliminiert. Konsequenterweise stirbt auch er am Ende des Films.

Das sei eine radikale und natürlich überspitzte Position, doch könne man bereits jetzt Tendenzen feststellen, die in eine ähnliche Richtung führten, sagte Carsten Q. Schneider von der Central European University in Ungarn. Der Gründungsdirektor des Center for the Study of Imperfections in Democracies (DISC) stellte heraus, dass es Bevölkerungsgruppen gibt, deren Leben aufgrund harter Arbeit signifikant kürzer ist als das anderer, bessergestellter Gruppen. Diese Art der Selektion sei subtiler als die im Film, gehe jedoch sehr effektiv vonstatten.

Den Publikumspreis des Filmwettbewerbs gewann der Kurzfilm „Running through Life“ der dänischen Filmemacherin Helene Moltke-Leth. Erzählt wird von Zoe Alpha, die während eines nächtlichen Laufs durch Kopenhagen über die täglichen gesellschaftlichen Anforderungen an sie nachdenkt. Das perfekte Leben spiegelt sich hier im makellosen Äußeren, der reibungslosen Karriere und einem hohen sozialen Status wider. Doch persönliches Glück erreicht sie trotz allem nicht.

„Uns hat der Poesiegehalt der Sprache sowie die detaillierte visuelle und verbale Übermittlung des Inneren der Person überzeugt“, begründeten die Jurymitglieder Evelyn Runge und Philipp Kanske die Auszeichnung dieses Films. „Wir haben uns gefragt, ob das Laufen nicht auch eine Metapher sei für den nicht endenden Drang des Menschen, ein besseres Wesen – a better being – zu werden.“



Projektleiter Philipp Kanske forscht am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Magdalena Nowicka ist Professorin für Migration and Transnationalism an der Humboldt-Universität zu Berlin und Evelyn Runge residiert als Fellow der Martin Buber Society an der The Hebrew University of Jerusalem in Israel.

Deidre Rath ist studentische Hilfskraft bei der Jungen Akademie.

„BE A BETTER BEING“

Der Kurzfilmwettbewerb „be a better being“ brachte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Filmschaffende und das Publikum in ein gemeinsames Gespräch. Auf diese Weise schlug der Wettbewerb eine Brücke zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. „be a better being“ sowie der Vorläufer „Europe: unlimited“ verstanden Kurzfilme aus Zeitdiagnosen und unterschieden sich damit von vielen Wissenschaftsfilmmformaten, die meist Forschende aus den Naturwissenschaften bei der Arbeit porträtieren. Eine kuratierte Filmli­ste findet sich auf der Internetseite betterbeing.info.



FOTO: DIE JUNGE AKADEMIE

Workshop im Rahmen des Festivals der jungen Visionäre von ZeitOnline „ZzX“

SICH EINMAL VON AUSSEN BETRACHTEN

Eine Konferenz der AG Faszination beschäftigte sich mit den Möglichkeiten des Perspektivwechsels

TEXT MIRIAM AKKERMANN, ULRIKE ENDESFELDER, KATHARINA HEYDEN, PHILIPP KANSKE UND KAI WIEGANDT

Die AG Faszination der Jungen Akademie beschäftigte sich zum dritten Mal mit der „Faszination des Unbekannten“. Nach den Themen „Raum“ (JAM Nr. 18) und „Zeit“ (JAM Nr. 21) ging es am 28. und 29. Oktober 2016 in Leipzig um „the Other“ – der, die, das Andere. Mit rund 80 Teilnehmenden aus Europa, Israel und Nordamerika war die Konferenz die größte und in einigen Aspekten die ungewöhnlichste dieser Reihe.

Ein zentrales Anliegen der Tagung war es, den Perspektivenwechsel als eine Grundvoraussetzung für eine gelingende Begegnung mit dem Anderen zu begreifen. Weil dieser Wechsel beständig geübt sein will, wurde der folgende Bericht jeweils aus der Sicht einer Teilnehmerin (Katharina Heyden) und der des Organisationsteams (Miriam Akkermann, Ulrike Endesfelder, Philipp Kanske und Kai Wiegandt) – in Unkenntnis der Einschätzungen der Anderen – verfasst.

ANDERE ORTE

Organisationsteam:

Die Konferenz „The Fascination with the Unknown: the Other“ war anders als andere Konferenzen. Es trafen sich Forschende mit Kunstschaffenden, praktische Übungen wurden mit theoretischer Durchdringung kombiniert. Die Räume in Leipzig trugen zu dieser Vielseitigkeit und Offenheit bei. Die praktischen Übungen fanden über vier Stockwerke verteilt im „Haus Steinstraße – Verein für Kultur, Bildung & Kontakte“ statt, einer Villa Kunterbunt, in der kein Raum einem anderen gleicht: von der Theaterbühne unterm Dach bis zum Büro im ersten Stock, vom Raum mit Sitzungstisch bis zum Yogastudio im dritten Stock. Die Vortragenden des zweiten Konferenztages sprachen an demselben Ort, an dem Rammstein vor vielen Jahren ihr erstes Konzert gaben: Sie standen auf der großen Bühne der „naTo“, einem Kulturzentrum in freier Trägerschaft, in dem sonst Filme laufen und Bands auftreten. Der Ort wird dazu beigetragen haben, dass um die 80 Zuhörerinnen und Zuhörer kamen – mehr als bei anderen Konferenzen und bunter gemischt dazu. Auf dieser Bühne hatte wirklich alles Platz: die raumgreifenden Performances von Martina Hefter und Gal Naor, in denen mit Sand gespielt, Kinderspielzeug transportiert und getanzt wurde, aber auch die Philosophie von Emmanuel Lévinas und die „Mental Files Theory of Mind“. Selbst die Wege zwischen den verschiedenen Orten der Konferenz haben zum Gelingen beigetragen: Es war der gemeinsame kleine Marsch vom Hotel zum Haus Steinstraße, auf



dem die „Others“ der Konferenz erstmals Kontakt zueinander aufnahmen, bevor sie nur dreißig Minuten später miteinander tanzten, Theater spielten und meditierten.

Teilnehmerin:

„Leaving the comfort zone“ zieht sich wie ein Leitmotiv durch die Tagung. Es trifft bereits auf die Räume zu, in denen man sich versammelt: Die vier von Künstlern geleiteten Workshops am Donnerstag finden im „Haus Steinstraße“ statt, einer alten, bunt gestalteten Villa in der Leipziger Innenstadt, die sonst vor allem von Familien und Theaterleuten bevölkert wird. Einige von ihnen trifft man in den Pausen im Treppenhaus, auch an diesem Freitag. Eine erfrischend unakademische Ortswahl. In einem Kinosaal geht es weiter: Die „naTo“ – ein begehrter Ort der Leipziger Kulturszene – bietet mit ihrem Kinosaal einen idealen Raum für die am Freitagabend gezeigten Kurzfilme und Performances. Die Forschenden, die am Samstag ihre Vorträge halten, stellt sie auch vor Herausforderungen: Wo auf der großen Bühne positioniert man sich? Wohin mit dem Manuskript, wenn es kein Stehpult gibt? Bei der Beantwortung dieser Fragen wurde auch die Performanz unterschiedlicher Wissenskulturen deutlich – Geisteswissenschaftlerinnen präferieren Sitzen und Lesen, Naturwissenschaftler Stehen und Reden.

DAS EXPERIMENT

Organisationsteam:

In der Wissenschaft wie in der Kunst gibt es verschiedene Methoden, um sich dem jeweiligen Konzept des „Anderen“ zu nähern. Was geschieht, wenn wir Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einladen, in einem Workshop ganz praktisch eine künstlerische Methode auszuprobieren? Entstehen neue Fragen, neue Sichtweisen, gar neue Erkenntnisse? Verstehen wir die Unterschiede unserer Herangehensweisen? Ergeben sich daraus völlig neue Blickwinkel mit einem für uns bis dato gänzlich unbeachteten Konzept vom „Anderen“? Zu den Workshops wurden Kunstschaffende aus den Bereichen Poesie/künstlerisches Schreiben, Tanz/Gebärdensprache, Theater und Meditation eingeladen. Mit den Workshops sollte eine praktische Annäherung an ein Konzept erfolgen: In sich selbst oder irgendeinen anderen hineinzudenken, an dessen Stelle zu imaginieren, den anderen darzustellen, sich selbst von außen zu betrachten. Die Perfor-

mance am Abend bot weitere Anregungen, genau wie die beiden Filme „Vultures“ (Joe McStracick) und „When I Stop Looking“ (Todd Herman) aus dem Kurzfilmwettbewerb „be a better being“ der Jungen Akademie. Sie werden zu eigenständigen Beiträgen in anderer Sprache. Am nächsten Tag konnten diese Erfahrungen und Denkanstöße in die wissenschaftlichen Vorträge mit einbezogen werden. Welche der Erfahrungen und Erkenntnisse sind vergleichbar, welche Fragen gleich und welche Ansätze gar nicht so weit voneinander entfernt, wie sie zunächst scheinen? Mit diesem Experiment ist es geglückt, die praktischen Selbstversuche an vielen Stellen in die wissenschaftlichen Diskussionen mit einfließen zu lassen. Besonders schön war, dass die scheinbar so klaren Grenzen zwischen künstlerischen und wissenschaftlichen Denkansätzen verschwammen und alle Erfahrungen ohne Wertung zu einem anregenden Austausch beitrugen.

Teilnehmerin:

Erst die Kunst, dann die Wissenschaft – so das Konzept der Tagung. Am ersten Tag geht es darum, unter Anleitung von Kunstschaffenden Zugänge zum „Anderen“ zu erproben – tagsüber mittels Literatur, Tanz, Theater oder Meditation, abends als Zuschauer von Filmen und Performances. Am zweiten Tag folgt das wissenschaftliche Symposium, mit ausnahmslos spannenden Beiträgen aus Psychologie und Neurowissenschaften zur „Theory of Mind“ (Josef Perner), „The potential of others“ (Daniel Haun), „Empathy and intergroup relations in the context of the Israel-Palestinian Conflict“ (Simone Shamay-Tsoory), „The social brain“ (Philipp Kanske), aus der Philosophie zu „Emotional states as a precondition to recognize one as an Other“ (Eva Maria Engelen), „Self and Others“ (Kristina Musholt), „Thinking the Other, thinking otherwise – Levinas' conception of responsibility“ (Eva Buddeberg) sowie aus der Literaturwissenschaft zu „Postcolonial Literatures and the Spectacle of Otherness“. Endlich einmal dienen die künstlerischen Beiträge nicht nur als Entspannungsprogramm von der Kopfarbeit, sondern bilden den Ausgangspunkt für das Denken! Die Umkehrung der für Tagungen gewöhnlichen Zeitabfolge (erst die Wissenschaft, dann die Kunst) verschafft den Künsten und der Erfahrung eigene Geltung im akademischen Diskurs: Was wissenschaftlich behauptet wird, muss sich angesichts der Erfahrung von Andersheit in den Workshops und Performances des Vortages bewähren. Forschung muss nicht nur überzeugen, sondern auch einleuchten. Und wie wäre es, wenn Künste und

Wissenschaft nicht als zwei voneinander getrennte Blöcke hintereinander stünden, sondern noch stärker miteinander verwoben würden, indem jeweils ein künstlerischer und ein wissenschaftlicher Tagungsbeitrag einander abwechselten? Die Tagung ermuntert dazu, auch in Zukunft andere Zeitabfolgen als üblich auszuprobieren.

DIE ANDEREN

Organisationsteam:

Insgesamt haben bis zu 80 andere Menschen an unserer experimentellen Tagung teilgenommen. Alle hatten einen jeweils anderen, eigenen Blickwinkel und kaum eine Profession war mehr als einmal vertreten. Ein kurzes Blitzlicht über Gespräche mit verschiedenen Anderen: *Können Maschinen Menschen erfolgreich imitieren? Eine Philosophin fand ein Fallbeispiel zum Weiterdenken – ganz praktisch entnommen aus einer kooperativen Tanzübung, bei der es darum ging, einander zu imitieren.* Während eines Workshops wurden Bewegungsübungen durchgeführt, die aufeinander aufbauten und Bewegungselemente amplifizierten. Dieses Konzept wurde während der wissenschaftlichen Podiumsdiskussion aktiv benutzt: Ein Teilnehmer griff einen Gedankengang zielstrebig auf und führte ihn weiter, so dass sich eine neue Diskussionsordnung ergab. Es war eine interessante Idee, auf diese Weise die Wortbeiträge nach Argumentationssträngen und Meinungen zu gruppieren und dadurch stärker herauszustellen! *Besonders oft und von vielen wahrgenommen: Eine insgesamt stärkere aktive Beteiligung aller Teilnehmenden, intensivere Diskussionen, ein persönlicherer Umgang und weniger Kontaktscheu, sogar eine starke Nachhaltigkeit der Eindrücke und größere Auseinandersetzung mit den Inhalten.* Die Überlegung, ob reflektierende und empathiefokussierte Workshops nicht generell ein gutes Startkonzept für erfolgreichere Tagungen mit Themen jeder Art sein könnten – wenn auch nicht jedes Thema unmittelbar in den Workshops umgesetzt werden kann wie „Der Andere“. *Verschiedene Ebenen der Kommunikation: Ich verstehe was du sagst UND ich kann dich nachfühlen. Körper, Gesten und Gesprochenes!* Das DU schreiben (ein weiterer Workshop) als konkretes Mittel zur Vermittlung von Ethik? Wie führt ein besseres Verständnis und die Vermittlung von Ethik beispielsweise zu mehr Organspenden? *Und auch das war kurz zu hören: Beeindruckende Balance zwischen akademischem und kreativem Austausch!*

Teilnehmerin:

„Leaving the comfort zone“ ist auch in den Pausengesprächen oft zu hören. Die Anwesenden erleben und diskutieren intensiv, welche Auswirkungen die Verbindung von Erfahrung, Kunst und Reflexion auf die Inhalte und auch auf den Habitus ihrer Wissenschaft haben. Das auf dieser Tagung dominante Thema „Empathie“ ist dafür besonders ertragreich – konnte man doch beobachten, dass auch der Gedankenfortschritt wissenschaftlicher Diskussionen auf die Fähigkeit zur Empathie angewiesen ist. Der Neurowissenschaftler und Germanist Fritz Breithaupt beleuchtet in seiner abschließenden *keynote* auch die dunklen Seiten der Empathie und setzt damit einen wichtigen Kontrapunkt zum allgemeinen Konsens der Tagungsbeiträge. Die lebhaft und kontrovers geführte Abschlussdiskussion ist sicherlich auf die unverkrampfte Begegnung unter den Teilnehmenden zurückzuführen. Es geht vor allem um methodologische Fragen des *Otherings* innerhalb der Wissenschaft und um die politische Verantwortung von Wissenschaft gegenüber der Gesellschaft. Ist es legitim, die dunklen Seiten der Empathie in einer als „Flüchtlingskrise“ bezeichneten Zeit zu thematisieren? Die Veranstalter selbst bezeichnen die Tagung und ihr Konzept mehrfach als ein „Experiment.“ Die Teilnehmerin resümiert fasziniert: Das Experiment ist vollauf gelungen – und regt zum Weiterexperimentieren an. 

Miriam Akkermann, Mitglied der Jungen Akademie seit 2015, arbeitet am Lehrstuhl Digitale und Audiovisuelle Medien an der Universität Bayreuth.

Ulrike Endesfelder forscht am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie & LOEWE Zentrum für Synthetische Mikrobiologie in Marburg. Sie ist seit 2015 Mitglied der Jungen Akademie.

Katharina Heyden ist seit 2012 Mitglied der Jungen Akademie. Sie lehrt als Professorin für Ältere Geschichte des Christentums und der interreligiösen Begegnungen an der Universität Bern.

Philipp Kanske wurde 2015 in die Junge Akademie aufgenommen. Er arbeitet am Leipziger Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften.

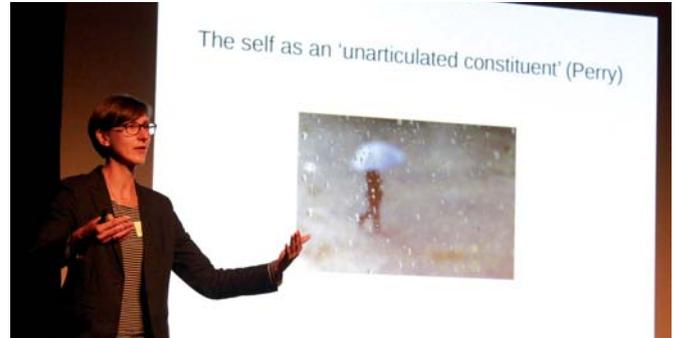
Kai Wiegandt, Mitglied der Jungen Akademie seit 2014, forscht am Institut für Englische Philologie an der Freien Universität Berlin.

Zum Weiterlesen:

theother2016.diejungeakademie.de



Performance von Gal Naor: Lights & Vessels Prologue



Kristina Musbolt: Self and Others



Workshop „Translating the Self“ von Gal Naor



Abschlussrunde



WELTWEITE VERNETZUNG

Die Global Young Academy steht in ihrem siebten Jahr vor neuen, weltweiten Herausforderungen

TEXT BEATE WAGNER

Als die Gesellschaft für deutsche Sprache den Begriff „post-faktisch“ im vergangenen Dezember zum Wort des Jahres 2016 kürte, hatte das Büro der Global Young Academy (GYA) dieses Schlagwort bereits für den Weltwissenschaftstag der UNESCO aufgegriffen. Am 10. November hatte die UN-Organisation für Wissenschaft und Kultur zusammen mit vielen Universitäten und Forschungsinstitutionen darauf aufmerksam gemacht, welche Bedeutung die Wissenschaft für Frieden, Entwicklung und das Leben eines jeden Menschen hat.

Schon bei der Vorbereitung unserer Kampagne hatte das Office-Team der GYA zu berücksichtigen, dass sich die großen politischen und gesellschaftlichen Diskussionen verschieben. Nachdem viele Jahre lang das Interesse an wissenschaftlichen Begründungen für globale politische Entscheidungen gestiegen war, veränderten sich die weltweiten Diskussionen spätestens mit dem Wahlkampf um das Weiße Haus substantiell. Sie werden zunehmend von Emotionen statt von Fakten geprägt. Als wir am Weltwissenschaftstag den Begriff „post truth“ kritisch aufgriffen, konnten wir damit zwar einen kleinen medialen Achtungserfolg erzielen, doch über den Wissenschaftsbetrieb hinaus wurde unsere Kampagne kaum beachtet. In den vergangenen Monaten haben die Herausforderungen für unseren Arbeitsbereich „Science and Society“ deutlich zugenommen.

Die GYA ist eine selbstorganisierte Akademie junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt. Unsere 200 Mitglieder kommen gegenwärtig aus 54 Ländern und müssen bei ihrer Bewerbung wissenschaftliche Exzellenz und gesellschaftliches Engagement nachweisen. Zum Zeitpunkt ihrer Aufnahme sind sie durchschnittlich 35 Jahre alt und haben ihre Promotion zwischen drei und zehn Jahren zuvor abgeschlossen.

Wenn die Mitgliedschaft nach fünf Jahren endet, werden sie Alumni. Der Aufbau von Alumnistrukturen wird ein wichtiges Thema des Annual General Meeting 2017 sein, das Mitte Mai in Schottland stattfinden wird.

Die Gründung der GYA im Jahr 2010 durch eine Initiative junger internationaler Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wurde von der Inter Academy Partnership, der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) unterstützt. Seit 2011 haben wir ein Büro im Gebäude der BBAW, das mit Hilfe der VolkswagenStiftung und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert wurde. Von der Bundesregierung wird die Globale Junge Akademie weiter unterstützt. Von 2017 an gibt es weitere Anschubfinanzierung für die Projektarbeit, jetzt an der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina in Halle.

Politikberatung und empirische Studien

Unsere Mitglieder haben drei wesentliche Aufgabenbereiche definiert: Wissenschaft und Gesellschaft (Science and Society), Arbeitsbedingungen (Research Environment), zudem den Wissenschaftsunterricht an Schulen, somit die Steigerung der Attraktivität wissenschaftlichen Arbeitens und wissenschaftliche Erkenntnisse (Science Education and Outreach).

Im Bereich Wissenschaft und Gesellschaft geht es neben Öffentlichkeitskampagnen vor allem um wissenschaftliche Politikberatung. Wir sind besonders erfreut darüber, dass unsere Mitglieder regelmäßig bei den Sitzungen des Scientific Advisory Board of the United Nations Secretary-General zu Beiträgen eingeladen wurden. Von der japanischen Regierung wurden sie zudem 2016

gebeten, eigene Beiträge zum G7-Treffen der Wissenschaftsminister zu liefern. Auch das Joint Research Center der EU schätzt die junge globale Perspektive unserer Mitglieder.

Der Bereich Arbeitsbedingungen engagiert sich mit empirischen Studien zum „Global State of Young Scientists“ (GloSYS). Eine Pilotstudie unserer Akademie untersuchte etwa, welchen Herausforderungen junge Forschende gegenüberstehen. Weltweit existieren unsichere Arbeitsverhältnisse, insbesondere für Frauen. Zurzeit wird die GloSYS-Studie in Asien und Afrika weitergeführt. Die Ergebnisse zur Situation in den ASEAN-Staaten wurden im Januar 2017 der Öffentlichkeit vorgestellt. Eine die afrikanischen Regionen übergreifende Studie wird 2018 fertiggestellt werden. Wir dokumentieren nicht nur, sondern

leisten auch praktische Unterstützung. In Afrika und Asien stärkt die GYA mit von ihr initiierten Science-Leadership-Programmen die Aufstiegschancen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler während ihres frühen und mittleren Karriere-stadiums.

Unsere Akademie unterstützt darüber hinaus in vielen Ländern Lehrkräfte bei der altersgerechten Vermittlung von Wissenschaft an Schulen. Jungen Menschen soll Wissenschaft als eine Berufsperspektive eröffnet werden, wo eine Karriere in der Forschung durch den schulischen Unterricht allein nicht attraktiv erscheint. Oft helfen dabei schon spielerische Ansätze, wie der Erfolg des Spiels Expedition Mundus zeigt, das die GYA zusammen mit der niederländischen Jungen Akademie entwickelt hat.



Bei der Konstituierung des wissenschaftlichen Beirats 2014 in Berlin traf GYA-Mitglied Sherien Elagrouty den UN-Generalsekretär Ban Ki-moon.

Austausch in Afrika, Asien und weltweit

Neben der Projektarbeit unterstützt unsere Akademie auch den Erfahrungsaustausch nationaler junger Akademien – vor allem in Afrika und Asien. So war die GYA im Oktober 2016 Partner bei der Durchführung des zweiten Treffens junger afrikanischer Akademien auf Mauritius und hat im Dezember in Bangkok dabei geholfen, einen ersten Austausch unter jungen asiatischen Akademien zu ermöglichen. In beiden Netzwerken bleiben wir aktiv. Für 2018 ist zusammen mit der Jungen Akademie Ägyptens geplant, die Kooperation auf dem afrikanischen Kontinent fortzusetzen. Auf dem Treffen in Bangkok wurde auch eine weitere Zusammenarbeit vereinbart, die aufgrund der Größe und der Diversität Asiens voraussichtlich in Sub-Regionen stattfinden wird. Und gemeinsam mit der SAYAS, der Nationalen Jungen Akademie in Südafrika, lädt die GYA im Juli 2017 zu einem dritten globalen Austausch junger Akademien nach Südafrika ein.

Die gut vernetzten jungen Akademien in Europa sind ein anlass- oder themenbezogener Partner. So hatten wir zusammen mit der niederländischen Jungen Akademie Anfang 2016 einen Workshop zur Flüchtlingskrise durchgeführt. Auch für eine Zusammenarbeit mit der deutschen Jungen Akademie sind wir offen, zumal das Sekretariat der GYA in Halle sitzt.

Beate Wagner ist seit Juli 2016 Managing Director der Global Young Academy. Weitere Infos unter: www.globalyoungacademy.net

PREISE, STIPENDIEN UND AUSZEICHNUNGEN



JESSICA BURGNER-KAHRN | [TECHNIKWISSENSCHAFTLICHER PREIS DER BERLIN-BRANDENBURGISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN](#)

Die Informatikerin Jessica Burgner-Kahrs wurde für ihre herausragenden Leistungen auf dem Gebiet der Kontinuumsrobotik mit dem technikkwissenschaftlichen Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ausgezeichnet. Die Informatikerin erhielt den mit 10.000 Euro dotierten Preis im Rahmen des Einsteintags aus der Hand von Akademiepräsident Prof. Dr. Martin Grötschel.



LENA HENNINGSEN | [LEOPOLDINA EARLY CAREER AWARD 2016](#)

Die Sinologin Lena Henningsen wurde mit dem von der Commerzbank-Stiftung geförderten und mit 30.000 Euro dotierten „Leopoldina Early Career Award 2016“ ausgezeichnet. Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina ehrt die Wissenschaftlerin damit für ihre herausragenden Forschungsarbeiten zur Gegenwartskultur Chinas sowie für ihr Engagement im interkulturellen Dialog und bei der Vermittlung eines differenzierten Chinabildes.



GORDON KAMPE | [SCHNEIDER-SCHOTT-MUSIKPREIS](#)

Der Komponist und Musikwissenschaftler Gordon Kampe hat den diesjährigen Schneider-Schott-Musikpreis erhalten. Die im Zweijahresturnus abwechselnd an Komponisten und Interpreten verliehene Auszeichnung ist mit 15.000 Euro dotiert. Die Verleihung durch die Mainzer Kulturdezernentin Marianne Grosse und Musikverleger Peter Hanser-Strecker fand im Peter-Cornelius-Konservatorium der Stadt Mainz statt.



WOLFRAM PERNICE | [CONSOLIDATOR GRANT DES EUROPEAN RESEARCH COUNCIL](#)

Der European Research Council fördert den Physiker Wolfram Pernice mit einem „Consolidator Grant“. Mit Hilfe der knapp zwei Millionen Euro dotierten Förderung wird Pernice in den kommenden fünf Jahren ein Forschungsprojekt durchführen, das im Bereich der optischen Quantentechnologien angesiedelt ist. Sein Ziel ist die Entwicklung optischer Chips, die für den Betrieb mit einzelnen Lichtquanten („Lichtteilchen“) ausgelegt sind. Diese Chips sollen die Realisierung abhörsicherer Kommunikationstechniken sowie Bauteile für die effiziente Simulation von komplexen Systemen ermöglichen.



BERNADETT WEINZIERL | [NASA GROUP ACHIEVEMENT AWARD](#)

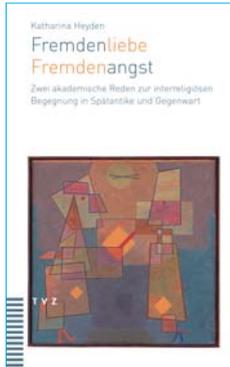
Die Atmosphärenphysikerin Bernadett Weinzierl erhielt im Sommer 2016 von der NASA den NASA Group Achievement Award. Sie wurde für ihre Arbeit im Rahmen der ACCESS-II-Messkampagne ausgezeichnet, die im Mai 2014 unter der Federführung der US-Raumfahrtagentur in Kalifornien stattfand. Bei diesem Experiment wurden während eines Fluges mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon die Emissionen von Flugzeugtriebwerken, die abwechselnd mit herkömmlichen Treibstoff und Biotreibstoff betankt wurden, beprob. Der Preis wurde in Washington verliehen.



XIAOXIANG ZHU | [DIVERSE PREISE](#)

Die Geowissenschaftlerin Xiaoxiang Zhu ist im Jahr 2016 mit einer Vielzahl von Preisen bedacht worden: Sie erhielt nicht nur einen der begehrten Starting Grants des Europäischen Forschungsrats, sondern wurde auch für ihre Arbeit mit dem IEEE International Geoscience and Remote Sensing 2016 Symposium Prize Paper Award ausgezeichnet. Darüber hinaus gewann Xiaoxiang Zhu den diesjährigen IEEE GRSS Image Analysis and Data Fusion Contest, bekam einen IEEE GRSS Early Career Award und wurde mit dem DLR Science Award ausgezeichnet.

PUBLIKATIONEN 2016



FREMDENLIEBE – FREMDENANGST: ZWEI AKADEMISCHE REDEN ZUR INTERRELIGIÖSEN BEGEGNUNG IN SPÄTANTIKE UND GEGENWART

Können verschiedene Religionen gemeinsam einen Kultort nutzen? Wie funktionieren interreligiöse Dialoge? Solche bislang kaum erforschten Fragen werden an Beispielen aus der Spätantike diskutiert: Juden, Heiden und Christen lebten etwa am Abrahamsheiligtum im palästinensischen Mamre ein Miteinander. Es zeigen sich Parallelen und Unterschiede zwischen damals und heute. Die Forderung nach Fremdenliebe, aber auch das Schüren von Fremdenangst erscheinen dabei als Konstanten interreligiöser Begegnung.

Autorin

Katharina Heyden

Verlag

TVZ Theologischer
Verlag Zürich
März 2016

<http://tinyurl.com/zapds4l>



ZUM BRÜLLEN! INTERDISZIPLINÄRES SYMPOSIUM ÜBER DAS LACHEN

Dieser Band beleuchtet Themen wie Humor, Witz, Ironie. Immer wieder geht es auch um die „Gefährlichkeit“ des Lachens, etwa das Verlachen von Obrigkeiten. Die Beiträge kommen aus der Philosophie und Musikpädagogik, der Literatur, Theater-, Rechts- und Musikwissenschaft. Sogar ein genuin literarischer Text ist enthalten. So ergibt sich ein vielgestaltiges Bild des Lachens und seiner komplexen Funktionen in den verschiedenen Kontexten.

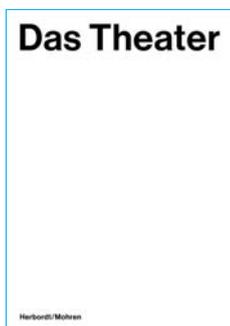
Herausgeber

Gordon Kampe

Verlag

Olms, Essen
August 2016

<http://int.olms.de/search/Detail.aspx?pr=2009147>



DAS THEATER

Was wäre, wenn ein ganzes Dorf inszeniert würde? Von Oktober 2015 bis Juni 2016 lud das Künstlerduo Herboldt/Mohren zu mehreren performativen Landpartien und einem Parcours aus Theaterinstallationen nach Michelbach an der Lücke ein. Bespielt wurden leer stehende Räume rund um den zentralen Dorfplatz – als Archiv, Gästehaus, Kino, Museum und Theater. Der Band dokumentiert das Projekt in Fotos, Gesprächen und Filmskripten.
Informationen: www.die-institution.org.

Herausgeber

Bernhard Herboldt,
Melanie Mohren,

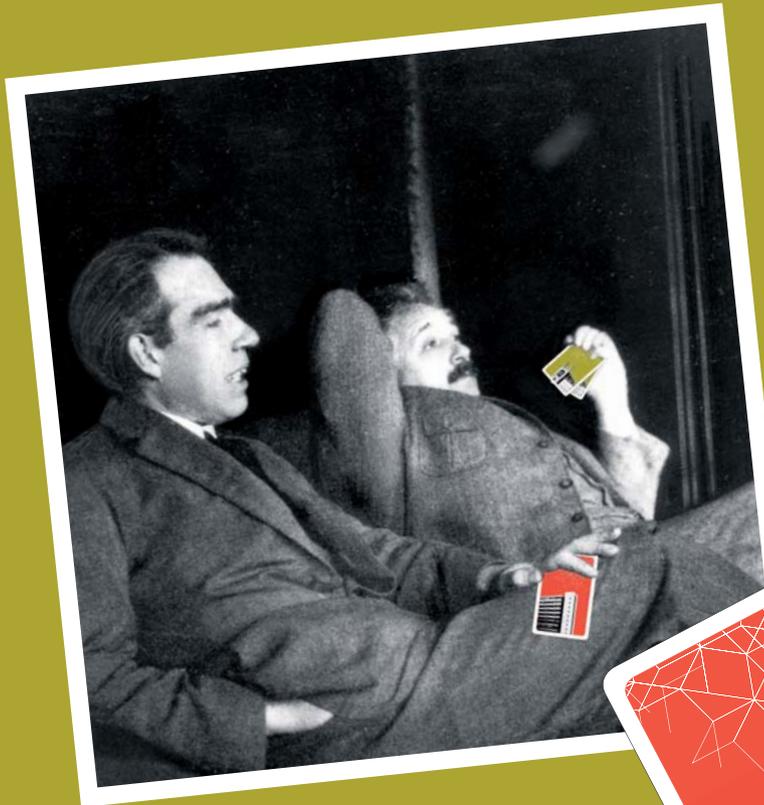
Verlag

Alexander Verlag Berlin
November 2016

https://www.alexander-verlag.com/programm/titel/392-Das_Theater.html

PEER REVIEW

EIN WISSENSCHAFTSSIMULATIONSSPIEL



PEER REVIEW ist ein Wissenschaftssimulationsspiel für vier bis sechs Spieler. Es dient der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und der Selbstreflexion etablierter Forscher sowie dem Ziel, einer breiteren interessierten Öffentlichkeit Grundkenntnisse über die Funktionsweise des Wissenschaftssystems zu vermitteln.



- EINFACHE SCHRITT-FÜR-SCHRITT-ANLEITUNG MIT INNOVATIVER 6-PUNKTE-GLIEDERUNG
- 37 ERPROBTE BEGUTACHTUNGSSTANDARDS
- 50 MERITEN FÜR ALLE FACHGEBIETE
- 192 CUTTING-EDGE RESEARCH TOPICS
- DURCHGEHEND INTERDISZIPLINÄR UND GESELLSCHAFTSRELEVANT

„Das Spiel ist notwendig zur Führung eines menschlichen Lebens.“
Thomas (Scholastiker)

TERMINE 2016/2017

Rückblick	7. Juli 2016	„Wer betreibt Spitzenforschung? Vor- und Nachteile der Exzellenzinitiative für Nachwuchsforscher“ Podiumsdiskussion an der Humboldt-Universität <i>Berlin</i>
	14. Juli	„Karrierechancen für Wiss. – Vorschlag Bundesprofessur“ Podiumsdiskussion an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften <i>Berlin</i>
	7. bis 14. August	Sommerakademie mit der Studienstiftung des deutschen Volkes <i>Kloster Roggenburg, Bayern</i>
	18. September	„Grenzphänomene“ Workshop der AG Zwei Kulturen <i>Berlin</i>
	23./24. September	„Imaginary Food: Essen in der Gegenwartskultur“ Workshop der AG Populärkultur(en) <i>Berlin</i>
	28. bis 30. September	„Denaturalizing Climate Change“ Internationaler Workshop der AG Nachhaltigkeit <i>Oaxaca de Juárez, Mexiko</i>
	6. bis 8. Oktober	Herbstplenum <i>Bremen</i>
	8. bis 15. Oktober	Schreibwerkstatt <i>Müritz</i>
	28./29. Oktober	„Die Faszination des Unbekannten: das Andere“ Tagung der AG Faszination <i>Leipzig</i>
	17./18. November	„be a better being“ Kurzfilmfestival und Preisverleihung <i>Berlin</i>
	17. bis 19. November	Symposium „Kulturelle Aspekte der Migration im Ruhrgebiet“ <i>Duisburg</i>

Rückblick	21. Januar 2017	Film- und Vortragsabend zum Thema „be a better being“ im Rahmen der Ausstellung DIALOGE 05 <i>Darmstadt</i>
	21. Januar 2017	Salon Sophie Charlotte <i>Berlin</i>
	28. bis 29. Januar	Workshop der AG Visualisierung <i>Wien</i>
Ausblick	24. bis 26. März 2017	Frühjahrsplenium <i>Konstanz</i>
	April/Mai	Projekt „Sorgenfrei 1“ der AG Kunst als Forschung <i>Bremen</i>
	5./6. Mai	Symposium „Sweet Home“ <i>Essen</i>
	12. Mai	Symposium „15 Jahre Juniorprofessur“ <i>Berlin</i>
	9. Juni	Mitglieder-Alumni-Abend <i>Berlin</i>
	10. Juni	Sommerplenium und Festveranstaltung <i>Berlin</i>
	11. Juni	Vernetzungstreffen der Jungen Akademien im deutschsprachigen Raum <i>Berlin</i>
	27. August bis 3. September	Sommerakademie <i>Kloster Roggenburg, Bayern</i>

WAS MACHT EIGENTLICH ...

Volker Springel, Mitglied der Jungen Akademie von 2006 bis 2011

FRAGEN DIRK LIESEMER

Sie waren bis 2011 Mitglied der AG Quantentheorie. Welche Themen wurden dort angesprochen, über die Sie heute noch nachdenken?

Wir sprachen über Interpretationsschwierigkeiten der Quantenphysik. Schon Einstein haderte damit. Ich bin zwar kein Quantenphysiker, aber mein Eindruck ist, dass diese Schwierigkeiten seit Einstein eventuell sogar noch größer geworden sind. So postulieren moderne Quantenfeldtheorien etwa eine Vielzahl weiterer Raumdimensionen. Früher dachte man, dass die Welt aus einem noch unverstandenen Grund genauso sein müsse, wie wir sie erfahren. Der String-Theorie zufolge könnten jedoch zehn hoch fünfhundert physikalisch denkbare Welten existieren. Ich würde sagen, dass sich die Verständnisprobleme der Quantentheorie in der noch schwierigeren Interpretation der Quantenfeldtheorie widerspiegeln.

Sie arbeiten auf dem Gebiet der rechnergestützten Astrophysik. Was müssen Ihre Rechner leisten?

Die Spitzenleistung paralleler Supercomputer liegt aktuell bei etwa zehn Petaflop. Das sind zehn hoch sechzehn Rechenoperationen pro Sekunde. Dazu braucht man einige Megawatt elektrischer Leistung und bis zu einer halben Million Prozessorkerne, die über schnelle Kommunikationsnetzwerke miteinander verbunden sind. Innerhalb weniger Wochen gelingen damit Berechnungen, für die ein einzelner Computer zehntausende Jahre bräuchte. Mit Hilfe der Rechner können wir besser verstehen, wie Sterne und verschiedene Galaxientypen entstehen. Wir können damit, kurz gesagt, die Entwicklung des Universums vom Urknall bis heute nachvollziehen.

Wie gehen Sie dabei vor?

Wir müssen dafür einen komplexen numerischen Algorithmus schreiben, der die physikalischen Gesetze möglichst effizient berechnet. Das Problem ist, dass sich die Schwerkraft im Universum über große Distanzen hinweg auf die Dynamik der Galaxien auswirkt. Für uns bedeutet das: Wir simulieren ein stark gekoppeltes System, das sich nicht einfach in unabhängige Abschnitte aufteilen lässt. Deshalb denken wir intensiv darüber nach, wie die Rechenarbeit am besten aufgeteilt und angeordnet



ZUR PERSON

Der Astrophysiker Volker Springel leitet am Heidelberger Institut für Theoretische Studien die Forschungsgruppe Theoretische Astrophysik. Zudem lehrt er als Professor an der Universität Heidelberg und ist Mitglied im Interdisziplinären Zentrum für wissenschaftliches Rechnen der Universität Heidelberg.

werden kann, so dass sie effektiv und genau abläuft. Am Ende ist der Programmcode hunderttausende Zeilen lang, und vor allem die Kommunikationsroutinen machen uns große Mühe. Jeder Fehler hier bringt einen der Computer zum Absturz.

Wo stehen Sie aktuell mit Ihren Forschungen?

Ich untersuche, wie sich superschwere Schwarze Löcher auf Galaxien auswirken. Obwohl diese Schwerkraftfallen winzig klein sind, können sie riesige Sternsysteme entscheidend verändern. Möglicherweise sind superschwere Schwarze Löcher der Grund dafür, dass Galaxien nicht über eine gewisse Größe hinauswachsen. Für diese These gibt es aus der beobachtenden Astronomie einige Indizien. Ich versuche nachzuweisen, dass Schwarze Löcher ihre freigesetzte Energie effizient in eine Galaxie ein koppeln können. In der Folge können dort keine neuen Sterne mehr entstehen, die Galaxie altert und „stirbt“. Es ist faszinierend: Ein superschweres Schwarzes Loch schafft es, ein System zu regulieren, das einige Millionen Mal größer und zehntausend Mal schwerer ist als es selbst.



Die Junge Akademie

an der Berlin-Brandenburgischen
Akademie der Wissenschaften und der
Deutschen Akademie der Naturforscher
Leopoldina

Geschäftsstelle

Die Junge Akademie
Jägerstraße 22/23
10117 Berlin

Telefon (030) 2 03 70-6 50

Fax (030) 2 03 70-6 80

E-Mail office@diejungeakademie.de

Internet www.diejungeakademie.de

