

fundiert

Das Wissenschaftsmagazin der Freien Universität Berlin

02/2012

Rechenheft





Bringt Tiefe auf jede Oberfläche.

Immer und überall bestens informiert –
mit der gedruckten und digitalen Ausgabe.
Telefon +41 44 258 15 30 oder abo.nzz.ch.

Neue Zürcher Zeitung

ZEITUNG - SMARTPHONE - TABLET - WEB

Vorwort

DIE REDAKTION

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Wer heute pünktlich seinen Bus erwischt, das Handy bedient, einen Wetterbericht gehört oder auch nur diese Seiten aufgeschlagen hat, der ist mit Mathematik in Berührung gekommen. Auch wenn es uns oft nicht bewusst ist – unser Alltag steckt voller Mathematik. Das klingt vielleicht ein bisschen nach Binsenweisheit. Oder nach dem Credo, das Mathematiklehrer ihren Schülern predigen: Ohne Mathematik geht es nicht!

Bei der Arbeit an diesem Heft haben wir immer wieder gemerkt – beides stimmt: Mathematik ist überall und unverzichtbar. Und weil das so ist, fiel uns die Themenfindung für diese Ausgabe von fundiert besonders leicht. Die mathematische Forschung an der Freien Universität ist vielfältig, zahlreiche Institute und Einrichtungen beschäftigen sich mit Mathematik oder wenden Mathematik für ihre Forschung an.

Eine dieser Einrichtungen wollen wir aus gegebenem Anlass besonders hervorheben: MATHEON. Vor zehn Jahren gegründet, forschen heute in dem äußerst erfolgreichen DFG-Exzellenzzentrum für angewandte Mathematik rund 200 Mathematikerinnen und Mathematiker in mehr als 60 Projekten. Aber auch außerhalb der „reinen“ Mathematik finden sich spannende Beispiele für die Anwendung der Forschung mit Zahlen und Formeln: Von der Wirtschaftswissenschaft bis zur Biologie kommt fast kein Fachgebiet ohne mathematische Methoden aus. Mathematik berührt sogar Disziplinen, in denen Schnittmengen vielleicht nicht auf den ersten Blick erkennbar sind. Wie es etwa um Wahrheit und

Ideale in Philosophie und Mathematik bestellt ist, erklären die Philosophin Sybille Krämer und der Mathematiker Ehrhard Behrends.

Um mathematische Grundlagenforschung in Gegenwart und Zukunft geht es in zwei Beiträgen, die sich mit der Forschung am MATHEON beschäftigen. Die Nachwuchsgruppe „Computational Proteomics“ zum Beispiel geht der Frage nach, wie mit Mathematik und Informatik biologische Krankheitsmuster entdeckt werden können. Welchen Anteil mathematische Grundlagenforschung am Fortschritt molekularer und klinischer Forschung in der Medizin hat, zeigt ein Beitrag über die Arbeit von Christof Schütte und Max von Kleist der Biocomputing Group. Ihr Ziel: Die Erfolgsgeschichte der mathematischen Modellierung mithilfe von Biocomputing in Makro- und Systembiologie fortzuschreiben.

Und noch eine Erfolgsgeschichte gibt es in diesem Heft – auch wenn sie nichts mit Grundlagenforschung im eigentlichen Sinn zu tun hat. Mathematiker und Didaktiker der Freien Universität engagieren sich in unterschiedlichen Projekten für Mathematik an Schulen. Wie man Kindern die Angst vor Mathe nimmt und Erwachsenen gleich dazu, erklären die Didaktikerin Brigitte Lutz-Westphal und Günter Ziegler, Professor für Diskrete Geometrie an der Freien Universität. Das sind nur einige Beispiele von Geschichten aus dieser Ausgabe, in der Mathematik mehr ist als der kleinste gemeinsame Nenner. Viel Spaß beim Lesen dieses „Rechenheftes“ wünscht Ihnen

Ihre *fundiert*-Redaktion

FORSCHUNGSZENTRUM BLÜHT AUF.

Dank der Stiftung Deutsche Klassenlotterie Berlin konnte eines der größten freitragenden Gewächshäuser der Welt von Grund auf saniert werden:
DAS GROSSE TROPENHAUS DES BOTANISCHEN GARTENS IN BERLIN.

Für die Sanierung und Modernisierung erhielt die Freie Universität Berlin Zentraleinrichtung Botanischer Garten und Botanisches Museum von der Stiftung Deutsche Klassenlotterie Berlin **2,55 Millionen Euro.**

STIFTUNG

DEUTSCHE KLASSENLOTTERIE BERLIN

Inhalt

Zahlen



Von Matthias Thiele

Wer hat's erfunden? Im Exzellenzcluster TOPOI erforschen Wissenschaftler der Freien Universität die Ursprünge der Mathematik 8



Von Leonard Fischl

Wahrheit – die unberechenbare Größe

Wie eine Philosophin und ein Mathematiker mit Zahlen der Wirklichkeit nahekommen..... 18



Von Ina Brzoska

Die Magie der Zahlen: Für die einen ist es eine schlichte 5 – für die

anderen Teufelszeug. Über die Bedeutung, Mystik und Irrationalität von Zahlen 24

Formeln



Von Julia Rudorf

Die Ästhetik der Rechenmaschine

Konrad Zuses Nachlass wurde digitalisiert – und gibt nach wie vor Rätsel auf 28



Von Julia Rudorf

Rechnen sie mit Regen! Meteorologen der Freien Universität zeichnen

auf dem Fichtenberg das Berliner Wetter auf 38



Von Leonhard Fischl

Eine Prognose ist nie sicher. Warum sich

Wirtschaftswissenschaftler mit Vorhersagen bei der Eurokrise schwertun 44

Lösungen



Von Sven Lebert

Zuses Erben. Das MATHEON ist eines der größten Forschungszentren der Mathematik.

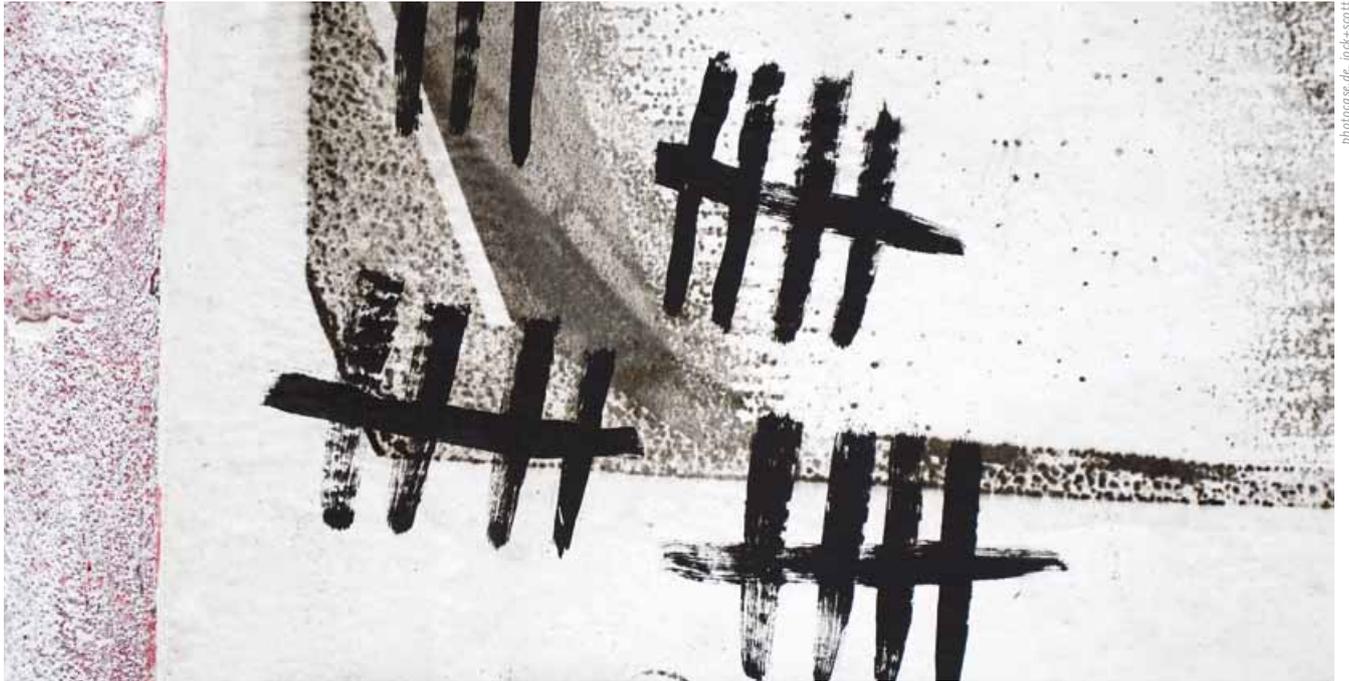
Vom ersten Moment an dabei: das Zuse-Institut auf dem Campus Dahlem 48



Von Philipp Grätzel von Grätz

Rechnen hilft!

Wie die Mathematik die Medizin voranbringt 58





MUND WERK

Die Kieferorthopäden

Dr. Michael K. Thomas
Prof. Dr. Rainer Reginald Miethke*
Dr. Bettina Ahlers
Dr. Anne Linderhaus

* in gelegentlicher Tätigkeit

Schöne Zähne
für alle!

Clayallee 330
14169 Berlin
Tel 030 801995-0
Fax 030 80199559
info@mundwerk.de
www.mundwerk.de

Sprechzeiten:
Mo-Fr 8:30-18:30 Uhr
Sa nach Vereinbarung






Gestaltung für Wissenschaft
und Kultur seit 1998.

www.unicomcommunication.de



einfach. schön. klug.

Fotograf Urban Zintel



2012|2013

KONZERTE

Die erste Saison mit dem neuen Chefdirigenten
TUGAN SOKHIEV

dso-berlin.de

Im Abonnement

BESTE PLÄTZE
Weil Sie Abonnent sind.

GÜNSTIG
Weil Sie schon ab 30€ Abonnent werden.

INDIVIDUELL
Weil Sie im Wahlabo ihre Termine bestimmen.

FLEXIBEL
Weil Sie zwei Konzerte tauschen können.



Deutsches
Symphonie
Orchester
Berlin

Inhalt

- 
 Von Florian Michaelis
Rechenkunst: Das muss Liebe sein. Wie Wissenschaftler der Freien Universität
 Begeisterung für Mathematik entfachen – nicht nur bei Schülern und Lehrern 62
- 
 Von Gisela Gross
Mit Mathe durch das Netz der Algen und Bakterien
 Wissenschaftler schlagen Brücken zwischen Mathematik und Biologie 72
- 
 Von Melanie Hansen
Formeln für die Traumfabrik
 Konrad Polthier macht Zahlen und Formeln erlebbar 78

Kurz-fundiert

- 
Kurz-fundiert
 Rechenheft in Stichpunkten 84

Impressum

Herausgeber

Das Präsidium der Freien Universität Berlin

Redaktion und Vertrieb

Christa Beckmann (v.i.S.d.P.)

Bernd Wannemacher

Julia Rudorf

Freie Universität Berlin

Presse und Kommunikation

Kaiserswerther Straße 16 – 18, 14195 Berlin

Telefon: (030) 838-73180 | Fax: (030) 838-73187

E-Mail: fundiert@fu-berlin.de

Titelbild

photocase.de, clafouti

fundiert im Internet:

www.fu-berlin.de/fundiert

Druck

H. Heenemann GmbH & Co

Anzeigenverwaltung

ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10

68623 Lampertheim

Telefon: (06206) 939 – 0 | Fax: (06206) 939 – 232

E-Mail: info@alphapublic.de

www.alphapublic.de

Gestaltung

UNICOM Werbeagentur GmbH

Parkau 36, 10367 Berlin

Telefon: (030) 509 69 89 – 0

Fax: (030) 509 69 89 – 20

E-Mail: hello@unicommunication.de

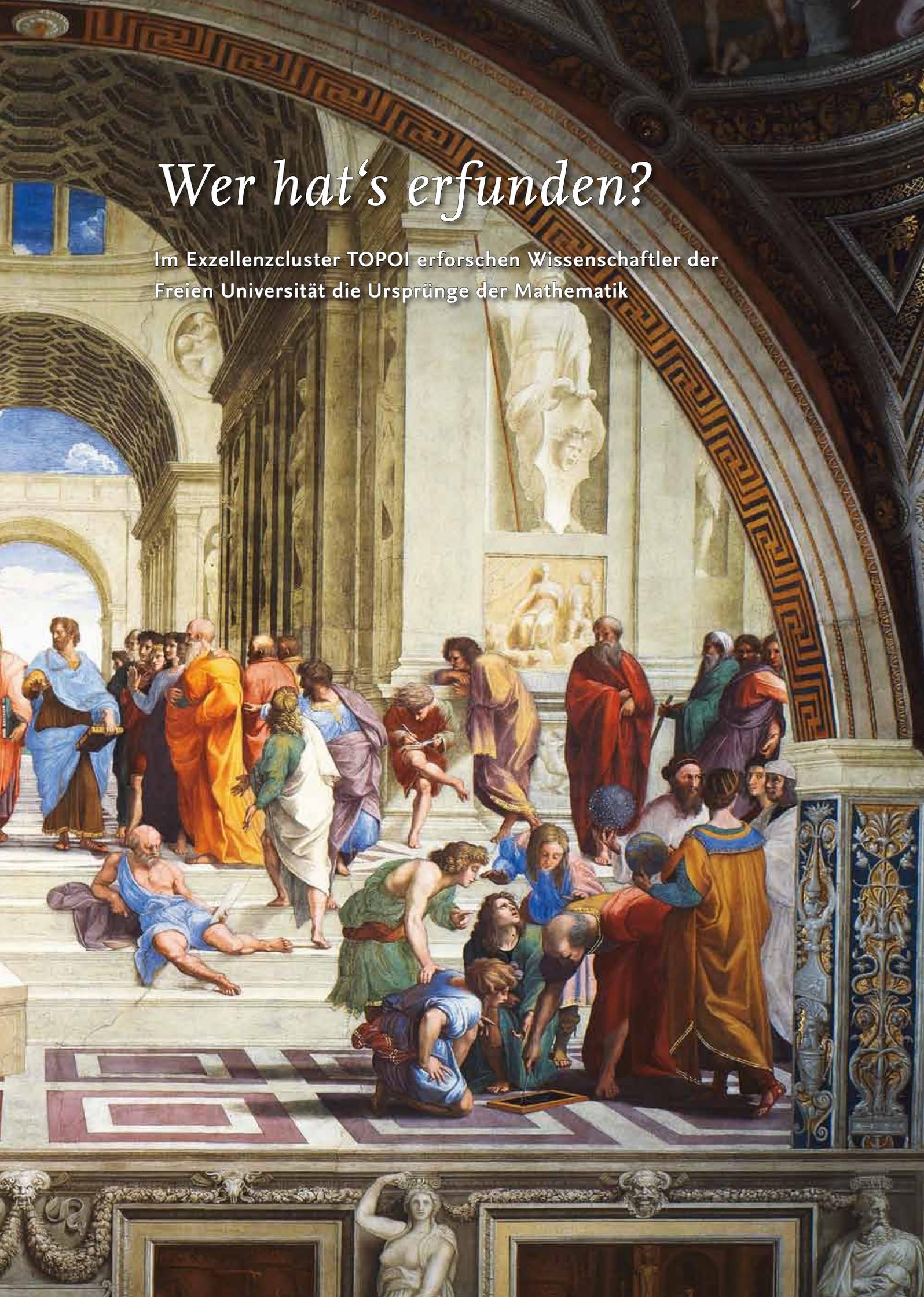
www.unicommunication.de



Gruppenbild mit Mathematikern: Auf dem Fresko „Die Schule von Athen“, das der Maler Raffael 1510 bis 1511 für Papst Julius II. anfertigte, finden sich gleich mehrere große Denker und Mathematiker. In der Mitte stehen Platon und Aristoteles, links unten ist Pythagoras mit einem Buch in der Hand zu sehen. Ob der Mann mit Zirkel am rechten Bildrand Euklid oder Archimedes darstellt, ist bis heute unklar. Das Bild soll die herausragende philosophische Denkschule des antiken Griechenlands illustrieren und ihre Bedeutung für Kultur, Philosophie und Wissenschaften darstellen.

Wer hat's erfunden?

Im Exzellenzcluster TOPOI erforschen Wissenschaftler der Freien Universität die Ursprünge der Mathematik





VON MATTHIAS THIELE

Archimedes, Pythagoras und Euklid: Gemeinhin gelten die Griechen als die Erfinder der modernen Mathematik. Doch woher hatte die Antike ihr Verständnis für Zahlen? Wissenschaftler der Freien Universität erforschen den Ursprung der Kulturtechnik, die uns heute in die Lage versetzt, das Wissen der Welt in einem Smartphone mit uns zu führen oder mit einer Sonde auf dem Mars zu landen. Sie stoßen dabei auf mutmaßliche Menschenopfer und Algorithmen, die noch älter sind als das Wissen der Griechen.

Im dreizehnten Jahr seiner Ausgrabungen in der Nähe des südmährischen Dorfes Dolní Vestonice stößt der tschechische Paläontologe Karel Absolon auf einen unscheinbaren Knochen: Wenige Zentimeter nur misst die Speiche des jungen Wolfes, der hier vor etwa 25.000 bis 30.000 Jahren in einer altsteinzeitlichen Siedlung von Mammutjägern zerlegt worden ist. Eigentlich ein Knochen, wie er hier schon hundertfach gefunden wurde. Und doch ist er eine kleine Sensation. Deutlich sichtbar sind darauf in Fünfergruppen Kerben eingeritzt. Karel Absolon ist sich 1936 schnell sicher: Er hat das wohl älteste Zeugnis menschlichen Zählens und Messens entdeckt.

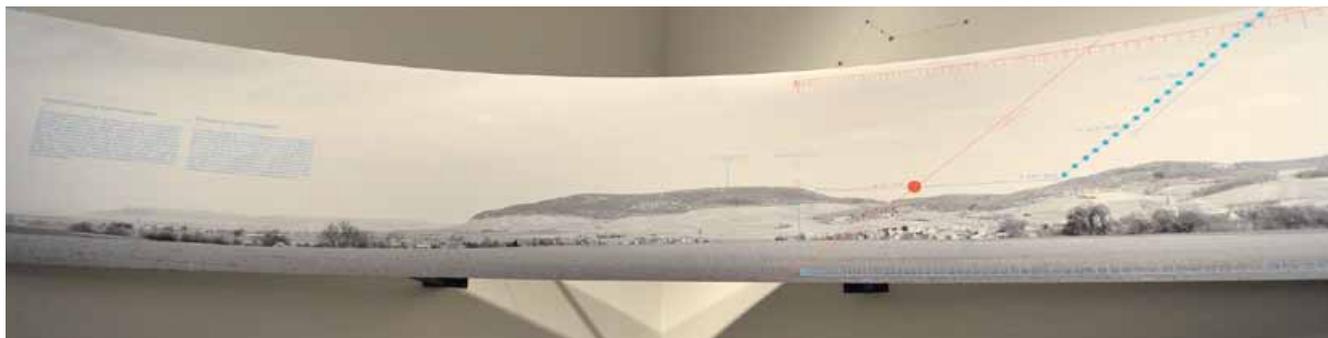
Dass das Zählen kleiner Mengen eine Fähigkeit ist, die auch Elefanten, Affen oder Hunde beherrschen, beschrieben Ethnologen schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Muttertiere geben durch eindeutige Zeichen zu erkennen, dass sie wissen, dass eines oder mehrere ihrer Jungen ihnen entwendet worden sind. Und auch bei Vögeln gab es bemerkenswerte Entdeckungen: Als ein Schlossherr einen Raben töten wollte, der sein Nest im Wachturm seines Anwesens gebaut hatte, floh der Rabe aus seinem Nest. Auch eine List schlug fehl: Der Schlossherr ließ zwei seiner Begleiter in den Turm ein, von denen sich einer nach wenigen Minuten zurückzog, während der andere im Turm dem Raben auflauerte. Das Tier ließ sich nicht verwirren und wartete so lange, bis sein Nistplatz wieder sicher war. Erst als fünf Männer den Turm betraten, war es dem Raben nicht mehr möglich, die Menge der Menschen abzuschätzen und er tappte in die Falle: Vier Männer verließen den Turm, der zurückgebliebene schließlich konnte den Raben erlegen.

Der Mensch hingegen, das beweist der Fund Absolons, war früh in der Lage, nicht nur große Mengen ähnlicher Objekte wahrzunehmen, sondern sie auch zu erfassen. Aber warum ritzen unsere Vorfahren Zahlensymbole in einen Tierknochen? Und wann entdeckte

Die vergleichsweise gute Beobachtungsgabe der Höhlenmaler gilt als Voraussetzung für weitere Leistungen wie das Zählen.



istockphoto/Pigiam



Die TOPOI-Ausstellung „Jenseits des Horizonts“ zeigte eine kreisrunde Abbildung des Horizonts, auf dem der Sonnenverlauf über der Siedlung Ippesheim in Mittelfranken veranschaulicht wird. Mit mathematischer Präzision wurden die Tore der Siedlung exakt auf den Stand der Sonne am kürzesten und längsten Tag des Jahres ausgerichtet.

der Mensch, dass sich Dinge buchstäblich an einer Hand abzählen ließen?

„Über die Anfänge des Zählens wissen wir wenig und können oft nur spekulieren“, sagt Michael Meyer, Professor für Prähistorische Archäologie an der Freien Universität. „Es gibt einfach zu wenige Quellen, anhand derer sich die Art des Denkens unserer Vorfahren nachweisen ließe.“

Höhlenmalereien zeigen, dass der Mensch schon vor Tausenden von Jahren sehr genau seine Umwelt beobachtet hat. Jagdszenen zeigen Tiere in Bewegung; die vorzeitlichen Künstler haben einen erstaunlichen Sinn für Proportionen. „Eine solche Beobachtungsgabe ist Grundvoraussetzung für eine Kulturleistung wie das Zählen“, sagt Meyer. „Aber ob die Höhlenbewohner eine abstrakte Zähltechnik beherrschten, lässt sich wissenschaftlich seriös nicht mehr überprüfen.“

Wie weit kann man sich einem Mammut nähern?

Messen, zählen und Mengen abschätzen war für den Steinzeitmenschen überlebenswichtig. Er musste abwägen, ob seine Sippe eine Herde von Rentieren gefahrlos angreifen konnte, oder wie weit er sich einem Mammut nähern musste, um es mit dem Speer tödlich zu treffen, ohne von ihm zertreten zu werden. Doch sind solche groben Annäherungen ein Instinkt oder eine bewusst erlernte Fähigkeit?

Die Frage nach dem Ursprung der menschlichen Intelligenz ist ungelöst. Zwar deuten Untersuchungen aus der Kinderpsychologie und anthropologische Forschungsergebnisse darauf hin, dass es eine Periode in der Evolution des Homo Sapiens gab, in der er nicht zählen konnte. Trotzdem ist nicht auszuschließen, dass auch die urzeitlichen Menschen ein intuitives Gespür für Zahlen und Mengen besaßen. – ganz ähnlich dem Raben auf dem Burgfried.

Dafür sprechen verhaltensbiologische Beobachtungen. Auch wenn der Mensch heute dank modernster Rechner die Zahl Pi bis auf die 10-billionste Stelle nach dem Komma berechnen kann, so erkennt sein Gehirn auch heute noch kaum mehr als vier ähnlich aussehende Gegenstände gleichzeitig: Schon wenn sieben Eurostücke auf dem Tisch liegen, müssen wir sie zählen – oder in Gedanken Teilmengen bilden.

Ippesheim in Mittelfranken gilt als besonders früher Beleg für die Entstehung des mathematischen Verständnisses. Hier, an den Ausläufern des Steigerwaldes, gut 30 Kilometer südöstlich von Würzburg, entdeckte der Luftbildarchäologe Klaus Leidorf im März 1989 bei seinem Überflug mit einer Cessna auf einem Lößrücken ein rundes Grabenwerk am Boden. Heute forscht hier Professor Wolfram Schier vom Exzellenzcluster TOPOI, das an der Freien Universität und der Humboldt-Universität angesiedelt ist.

In den Neunzigerjahren wurde der Abschnitt erstmals systematisch untersucht. Die Archäologen entdeckten im Erdreich eine kreisrunde Grabenanlage mit vier Toren. Umgeben war sie vor Urzeiten von einem Graben und einem Ring aus Holzpalisaden. Die Wissenschaftler datierten den Bau auf die Zeit um 4.800 v. Chr.

Mittlerweile ist die Anlage freigelegt und genau vermessen. Sie hat einen Durchmesser von 64 Metern – das entspricht der Größe des Riesenrades im Wiener Prater. In ihrer Mitte wurden vor zehn Jahren der Schädel und ein Zehenknochen einer toten Frau entdeckt. Weil sie kopfüber beigesetzt worden war, vermuten einige Forscher, dass die Frau geopfert wurde.

Mathematische Präzision im Fränkischen – 4800 vor Christus

Noch erstaunlicher aber war die mathematische Präzision, mit der die Anlage errichtet wurde: Die Tore sind exakt auf den Stand der Sonne am kürzesten und läng-



sten Tag des Jahres ausgerichtet. Außerdem zeigten sie den Sonnenuntergang an den beiden Tagen der Tag- und Nachtgleiche an. Schier deutet beides als Indiz für rituelle Handlungen, die an diesem Ort durchgeführt worden sein könnten.

„Eine solche Anlage kann man nur bauen, wenn man über Jahre hinweg systematisch die Laufbahn der Sonne beobachtet, dokumentiert und misst“, sagt TOPOI-Sprecher Michael Meyer. Im Rahmen des Exzellenzclusters soll nun die astronomische Einbindung in der Grabenanlage weiter untersucht werden.

Die Entdeckung in Ippesheim zeigt, welche neuen Bedürfnisse die menschlichen Gesellschaften nach der neolithischen Revolution entwickelten: War für den Jäger und Sammler nur die Abschätzung des Raums und der Mengen bedeutend, mussten sich die Ackerbauern und Viehzüchter der jungsteinzeitlichen Siedlungen nun auch in der Zeit orientieren. Zu wissen, wann die Tage wieder länger werden und die Saat aufs Feld gebracht werden kann, war für ihre Gemeinschaften überlebenswichtig. Einfache Observatorien, wie die Ippesheimer Grabenanlage, gaben Orientierung.

Die Sesshaftigkeit der jungsteinzeitlichen Sippenverbände war auch Voraussetzung für das Aufkommen von Handelsbeziehungen. Verbindliche Einheiten mussten gefunden und gezählt werden: Körbe, Wägesteine und Fußmaße dürften schon früh eine Rolle gespielt haben

bei der Aufteilung der Ernte und dem Anlegen von Lebensmittelspeichern.

Aufgrund der besseren Versorgung gab es auch immer mehr Menschen. Lebten in der Mittelsteinzeit nach Schätzungen kaum mehr als 500.000 auf der Erde, stieg ihre Zahl bis in die Zeit um das Jahr 3000 vor Christus auf etwa 28 Millionen.

Eben in dieser Periode entdeckte man in Vorderasien, dass aus der Verschmelzung von Kupfer und Zinn ein widerstandsfähiges, hartes und gut formbares Metall entstand – die Bronzezeit brach an.

Über die Levante, Nordafrika und die Apenninhalbinsel gelangte das Wissen über die Herstellung des neuen Materials um 2200 vor Christus nach Mitteleuropa, vierhundert Jahre später war die Bronze in ganz Europa verbreitet. Verzierte Stäbe aus Holz und Metall, die sich vielfach in der Architektur der Siedlungen wiederfinden, sind Zeugen der kulturellen Entwicklung des Raums.

Mit der Bronzezeit beginnt der Handel mit Rohstoffen

Mit der Entdeckung der Bronze blühte auch der Handel mit Rohstoffen auf – und mit ihm das Zählen und Messen. „Rezepte für Legierungen setzen eine Vorstellung für Mengen voraus“, sagt Prähistoriker Meyer. „90 Teile

Der Sonnenwagen von Trundholm gehört zu den wichtigsten Funden aus der europäischen Bronzezeit – für die Herstellung von Bronze benötigten die damaligen Handwerker zumindest schon das Gefühl für Mengen: 90 Teile Kupfer, 10 Teile Zinn.



Bernd Wannenmacher



Posieren für die Medien: Laila zeigt ihr Gipsbein her.

Foto: Gisela Gross

Kameldame mit Gehgips

Veterinärmediziner der Freien Universität operierten das gebrochene Bein einer jungen Kamelstute

Man muss schon zweimal hinsehen, um es zu glauben: In der Pferdeklunik der Freien Universität steht ein Kamel in der Box – und dazu noch eins mit Gipsbein. Laila heißt die Patientin, der Veterinärmediziner Professor Christoph Lischer und sein Team nach einem komplizierten Bruch wieder auf die Beine geholfen haben.

[Lesen Sie weiter »](#)

ZIEL

FORTSCHRITT IM DRUCK.
SEIT 100 JAHREN.

1000

Wir drucken flexibel und termingenau
zu transparent kalkulierten Preisen.



Druckerei H. Heenemann
Bessemerstraße 83–91 · D-12103 Berlin
Telefon (030) 75 30 30
Telefax (030) 75 30 3131

Auf den ersten Blick sehen sie aus wie Lehmklumpen, es sind aber sogenannte Tokens, deren unterschiedliche Formen jeweils einen anderen Zahlenwert symbolisierten: Rund könnte „5“ bedeuten, dreieckig „10“.



Marie-Lan Nguyen / Wikimedia Commons

Dr. Dr. Hagan Brunke



Hagan Brunke war für fundiert und die Suche nach der Entstehung der Zahl und des Zählens der ideale Ansprechpartner: Er studierte Physik und Mathematik an der Technischen Universität München und promovierte darin an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Dort promovierte er auch im Fach Assyriologie. Seit 2008 ist Hagan Brunke wissenschaftlicher Mitarbeiter des Exzellenzclusters TOPOI am Institut für Altorientalistik der Freien Universität Berlin und am Institut für Mathematik der Humboldt-Universität zu Berlin.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Altorientalistik
E-Mail: brunke@zedat.fu-berlin.de

Prof. Dr. Michael Meyer



Michael Meyer ist Professor für Prähistorische Archäologie an der Freien Universität und stellvertretender Sprecher des Exzellenzclusters TOPOI – The Formation and Transformation of Space and Knowledge in Ancient Civilizations, der im Exzellenzwettbewerb erneut erfolgreich war. In seiner Forschung beschäftigt er sich unter anderem mit der Archäologie der Jahrhunderte um Christi Geburt sowie der Siedlungsarchäologie. Unter anderem ist er auch erster Vorsitzender der Archäologischen Gesellschaft in Berlin und Brandenburg.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Prähistorische Archäologie
E-Mail: michael.meyer@fu-berlin.de

Kupfer und 10 Teile Zinn mussten verlässlich abgewogen werden.“

Vergleicht man Sichel-Funde aus Mitteleuropa mit solchen aus anderen Kulturen – etwa der minoischen auf Kreta –, fällt das annähernd gleiche Gewicht der Werkzeuge auf. „Das spricht dafür, dass es für Bronze ein Gewichtsmaß gab, das weit über die Grenzen einer Kultur bekannt war“, sagt Meyer. Das hört sich plausibel an, lässt sich aber bisher noch nicht beweisen.

Im Zweistromland und am Nil entwickelte sich unterdessen die menschliche Kultur weiter, und mit ihr auch die Mathematik. Die Ausbreitung von Pflugbau, Nutzungswechselwirtschaft und Mistdüngung steigerten die Erträge auf den Feldern. Die ersten Hochkulturen waren nun auch in der Lage, Menschen zu ernähren, die nicht selbst ihre Felder bestellen mussten. Es entwickelte sich eine Verwaltung, Feldflächen wurden vermessen und berechnet, Lagerbestände erfasst und Bilanzen erstellt, Abgaben berechnet, ein ausgeklügeltes Überwachungs- und Kontrollsystem installiert. Diese Abläufe finden sich bereits in den ältesten Texten aus Babylonien, die um das Jahr 3000 vor Christus entstanden sind. Da die Systeme jedoch zu diesem Zeitpunkt schon sehr ausgereift waren, müssen sie auch schon in vorschriftlicher Zeit existiert haben.

„Die Verwaltung der Uruk-Zeit bediente sich zum Festhalten von Mengen einfacher Zählensymbole, sogenannter Tokens“, sagt Hagan Brunke vom Institut für Altorientalistik der Freien Universität.

Der Wissenschaftler ist nicht nur in Assyriologie promoviert, sondern auch in Mathematik. Er ist ein ausgewiesener Kenner der frühen Zahlengeschichte: „Für jedes Schaf, jede Getreideeinheit wurde ein Stück geformter Ton auf einen Haufen gelegt und so die Menge abstrakt gespeichert. Während zunächst jedes Objekt für eine Einheit stand, ging man sehr früh dazu



über, Tokens in verschiedenen Formen zu benutzen, die jeweils einen anderen Zahlenwert symbolisierten.“ Ein runder Stein etwa könnte beispielsweise „5“ bedeuten haben, ein Dreieck „10“.

Um das Wissen über Schrift- und Zahlensysteme weiterzugeben, entstanden in den Städten Mesopotamiens Schreibschulen. Hier wurde auf Tontafeln geübt, was der Schriftgelehrte später wissen musste: Bezeichnungen von Amtsträgern, Maßeinheiten oder eben Zahlentabellen. Lernaufgaben aus dieser Zeit haben die Jahrhunderte überdauert und werden von Forschern in aller Welt entschlüsselt.

Dass sich die Mathematik in Babylonien entwickelt hat, davon sind Wissenschaftler heute überzeugt. „Ein babylonischer Algorithmus zum Ziehen der Quadratwurzel wird noch heute in Taschenrechnern verwendet“, sagt Hagan Brunke. Der Kreiszahl Pi näherte man sich, indem man einen Mittelwert aus zwei Quadraten bildete: aus einem, dessen Kanten den Kreis berührten und einem, das der Kreis exakt umschloss.

Überhaupt spielten Mittelwert und Annäherung eine entscheidende Rolle im Denken der Sumerer. Man fand zum Beispiel Kartierungen von unregelmäßigen Fel-

dern, die man zur Flächenberechnung in solcherart berechenbare Formen unterteilte – Rechtecke, Trapeze, Quadrate.

Zwischen Euphrat und Tigris entsteht die theoretische Mathematik

Die zweite babylonische Eigenheit war die Liebe zu Listen. So entdeckten die Archäologen zwischen Euphrat und Tigris Rechentabellen von Kehrwerten, Multiplikatoren und Maßen. Teilweise wurden die Listen so weit geführt, dass ein praktischer Nutzen ausgeschlossen werden kann: Die Geburt der theoretischen Mathematik.

Grundlage für alle Berechnungen war das Sexagesimalsystem, das auf der Zahl 60 basiert. Es war bei den Sumerern um 2300 vor Christus aufgekommen und wurde von den Babyloniern übernommen. Möglicherweise basiert es auf dem einhändigen Zählen bis 12, bei dem mit dem Daumen als Zeiger die jeweils drei Fingerglieder derselben Hand durchgezählt werden. Kommt man am zwölften Glied an, ist eines von fünf Dutzend voll, die man sich mit den Fingern der anderen Hand

Nilometer heißen die Einkerbungen am Ufer des Nils. Damit konnten ägyptische Gelehrte den Wasserstand des Flusses messen.



Kunsthistorisches Institut, Freie Universität Berlin



Nur die Uhren gehen anders: Das Rechensystem, basierend auf der Zahl 60, kam 2300 vor Christus auf. Außer zur Zeiteinteilung wird es heute jedoch nicht mehr genutzt.

merken kann. Noch heute ist dieses Fingerzählssystem in Teilen des Orients, in Indien und Indochina verbreitet. Erst die assyrische Kultur des zweiten Jahrtausends vor Christus führte im Zweistromland das Dezimalsystem ein; das auf 60 basierende System pflegten nur noch Gelehrtenkreise. Überlebt hat es bei der Einteilung von Stunden in Minuten und Sekunden und in der Einteilung eines Kreises in 360 Grade.

Im alten Ägypten dagegen hatte sich wohl früh aus dem Zählen der Finger das Dezimalsystem durchgesetzt, mit dem wir für gewöhnlich auch heute noch rechnen.

Die Gelehrten am Nil beschäftigte der Pegel des Leben bringenden Flusses. Noch heute können Touristen nahe Assuan ein Nilometer besichtigen, mit dem die Beam-

ten je nach Wassertiefe den landesweiten Steuersatz anpassten. Ein Beispiel, wie weit die Mathematik dort entwickelt war, ist auch heute noch gut sichtbar: die Cheops-Pyramide. Das Verhältnis von Höhe zu doppelter Seitenlänge beträgt 22:7 – und entspricht damit bis zur zweiten Dezimalstelle der Zahl Pi.

Die Griechen entwickeln die mathematische Beweisführung

„Es ist kaum anzunehmen, dass die ägyptischen Baumeister diese Monumente alleine nach dem trial-and-error-Verfahren konstruiert haben“, sagt Brunke. Sicher ist, dass auch in dieser Hochkultur Abgaben, Arbeitsleistungen Menge und Art von Opfergaben schriftlich festgehalten wurden. Allerdings erreichten die Ägypter bei Weitem nicht das hohe Maß an Systematisierung und Abstraktion wie die Menschen in Mesopotamien.

„Eines ist den Ägyptern und den Hochkulturen im Zweistromland jedoch gemein“, sagt Brunke: „In beiden Kulturen fehlt die Reflexion des Wissens – auch des Wissens über Zahlen.“ Eine im heutigen Sinne mathematische Beweisführung entwickelten erst die Griechen. Sie waren es, die die Mathematik von einer praktischen in eine theoretische Tätigkeit transformierten. Pythagoras suchte gar ganz philosophisch die Harmonie der Natur in der Ordnung der Zahlen.

„Seinen berühmten Satz, mit dem man die Diagonale aus den Seitenlängen eines Rechtecks berechnen kann, kannten die Babylonier schon rund 1000 Jahre, bevor Pythagoras ihn bewiesen haben soll“, sagt Brunke. „Bloß haben sie vergessen aufzuschreiben, wie sie darauf gekommen sind.“

Akademische Buchhandlung

Ihre wissenschaftliche
Versandbuchhandlung mit den
besonderen Dienstleistungen.

Aktuell. Kompetent. Schnell. Zuverlässig.

Werner GmbH

Ehrenbergstraße 29
14195 Berlin

Telefon +49 (0)30 84 19 08-0
Telefax +49 (0)30 84 19 08-25
E-Mail info@akabuch.de
www.akabuch.de



Wahrheit – die unberechenbare Größe

Seitdem es Philosophie und Mathematik gibt, überschneiden sich die Fragestellungen beider Disziplinen. Drückt Mathematik etwas über die „wahre“ Wirklichkeit aus? Oder sind Kalküle nur Konstrukte menschlichen Denkens? Über Wahrheiten, Parallelen und Schnittmengen sprach fundiert mit Sybille Krämer, Philosophin an der Freien Universität, und Ehrhard Behrends vom Institut für Mathematik der Freien Universität.

VON LEONARD FISCHL

„Keiner möge hier eintreten, der nichts von Geometrie versteht.“ Dieser Satz stand auf den Toren der Akademie des griechischen Philosophen Platon. Keine Philosophie ohne Mathematik – das war die Überzeugung der Antike. Schon damals waren Philosophen von den Grundlagen der Mathematik fasziniert. Auch heute besuchen Studierende der Philosophie Logikkurse, argumentieren und begründen, um mithilfe der Mathematik den Verstand zu schärfen und das Urteilsvermögen zu trainieren

Das Interesse von Sybille Krämer geht freilich noch weiter. Die Philosophin interessiert sich für das Spannungsverhältnis zwischen Idealität und Realität in der Mathematik und Philosophie: „Einerseits zielt der Mathematiker auf etwas Abstraktes, ganz Ideales, wie den perfekten Kreis. Andererseits gibt es keine Kreise in der irdischen Welt. Der Kreis ist ein mathematischer Begriff; er ist ein Konstrukt. Doch um über diese idealen Kreise etwas zu erkennen, muss der Mathematiker mit gezeichneten Kreisen, mit Zirkel und Lineal auf dem Papier arbeiten“, sagt die Philosophin.

Mathematik für Schafzüchter und Bauherren

Die Professorin für Philosophie an der Freien Universität Berlin hat sich in ihrer Habilitationsschrift mit dem Philosophen Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) und seinen mathematischen Studien beschäftigt. In ihrem Buch „Berechenbare Vernunft. Kalkül und Rationalismus im 17. Jahrhundert“ diagnostiziert sie einen

Die Akademie des Platon (vermutlich dritter von links), dargestellt auf einem Mosaik aus dem Haus der T. Siminius Stephanus, Pompeii



Bruch, der für das moderne Denken radikale Folgen hat.

Sybille Krämer beschreibt die Entstehung des sogenannten Operativen Symbolismus, mit dem die Mathematik sich von der konkret erfahrbaren Welt abgewendet und zu einer abstrakten hingewendet hat. So erst entstand das System der Formeln, ein neuartiges Medium, das mit unendlichen Größen operiert. „Bei den Ägyptern war Mathematik noch eine Rechenkunst, die sich im praktischen Gebrauch zu bewähren hatte.“

Von Nutzen war Mathematik also zunächst beim Häuserbau oder beim Zählen von Schafen.

Erst die Griechen unterwarfen das Operieren mit Zahlen dem Beweis: Auf einmal ging es nicht nur darum, Zahlen im Alltag zu verwenden, sondern auch darum, ihre Relationen untereinander zu beweisen. „Die Rechenkunst wurde bei den Griechen umgebildet zu einer Wissenschaft, bei der es darum ging, wahre Sätze über mathematische Objekte zu rechtfertigen.“ Ein wichtiger Schritt hin zum abstrakten Denken.

Trotzdem blieb auch bei den Griechen noch die überprüfbare Wirklichkeit der Anker für mathematische Studien. Es gab keine einheitliche Variablensprache, mit der man abstrakte Größen hätte ausdrücken können. „Ein Grieche konnte „a“ mit einer Linie verbinden, „a²“ mit einem Quadrat und „a³“ mit einem Volumen“, sagt Sybille Krämer „Aber ein „a⁴“ ist dann kein akzeptables Objekt mehr, weil es den Bereich der menschlichen Erfahrungswelt übersteigt.“ Insofern sei die griechische Mathematik immer noch am Realen orientiert gewesen. Das habe sich erst mit der Formalisierung in der Neuzeit geändert.

Emanzipation von der Wirklichkeit

Die Philosophin beschreibt diese Wende mit dem Begriff des Kalküls, der auf den Philosophen Leibniz zurückgeht. Dessen mathematische und logische Studien hätten Rechnungen ermöglicht, die sich von den realen Verhältnissen in der Welt losgelöst hätten. „So stellte man sogenannte Kalküle auf, bevor man sie überhaupt interpretieren konnte. Dazu gehörte auch der Einsatz des Zeichens für die Null im dezimalen Positionssystem oder das Rechnen mit unendlichen Größen. Man

Der Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) versuchte, die Mathematik in die Erkenntnistheorie zu übertragen.



vertraute den regelgeleiteten Verfahren.“ Es entstand ein Symbolismus, durch dessen Existenz die Nabelschnur zwischen Zeichen und Welt ein Stück weit durchtrennt wurde.

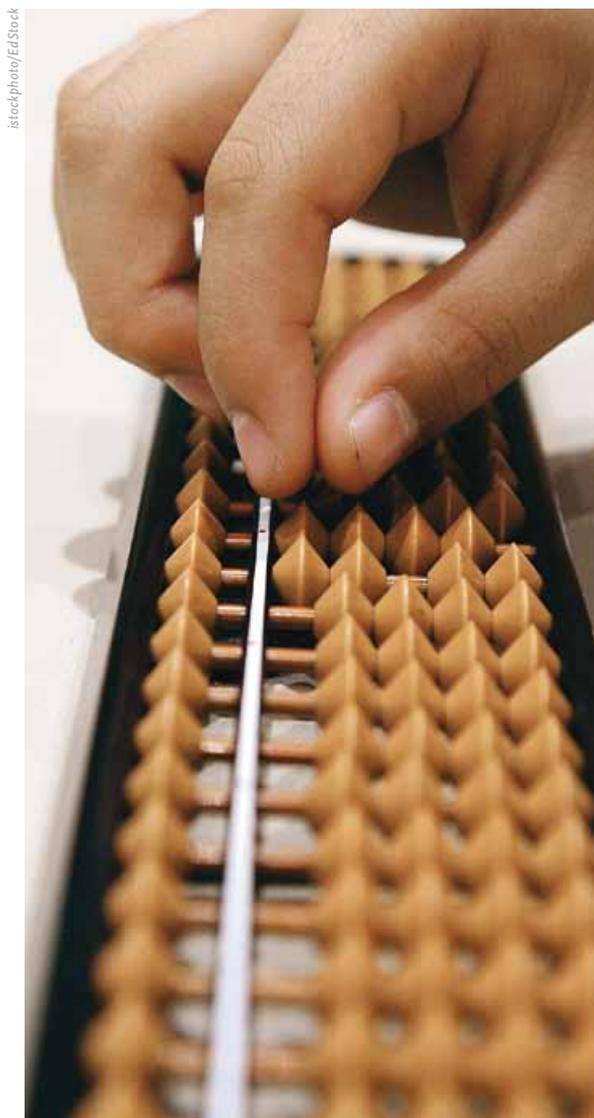
Für Sybille Krämer ist Leibniz deshalb eine bahnbrechende Figur, weil er das mathematische Kalkül auch in der Erkenntnistheorie zur Anwendung brachte. Er glaubte, durch die algorithmische Manipulation von Zeichen auf dem Papier zu neuen Wahrheiten zu gelangen.

„Diese Idee wurzelt in der Einführung des schriftlichen Rechnens. Die Römer benötigten noch einen Abakus als Recheninstrument“, erläutert Krämer mit Blick auf die Entstehungsgeschichte. „Erst die Erfindung des dezimalen Positionssystems, das die Araber nach Europa brachten, erlaubte es, Rechnungen als Kalküle, also rein schriftlich, durchzuführen. Leibniz übertrug diese Rechenkunst auf die höhere Mathematik – und hoffte, dieses Verfahren schließlich auch in der Philosophie einsetzen zu können.“

Wahrheit durch richtiges Rechnen

Leibniz' größte mathematische Leistung war aber die Erfindung des Infinitesimalkalküls. Mit diesem System konnten unendlich kleine oder unendlich große Größen analog zu endlichen Zahlen berechnet werden. Leibniz schaffte es, diese Option zu durchdenken, ohne dass die Frage nach der realen Entsprechung für abstrakte Rechnungen eine Rolle spielte. Das war die Geburtsstunde der Infinitesimalmathematik, die wiederum weitreichende Folgen für die Erkenntnistheorie hatte. Denn Leibniz strebte ein universales Denkkalkül an, das bis in die Disziplin der Rechtsprechung reichen sollte. „Die Annahme war: Wenn sich das Posi-

Bevor die arabischen Mathematiker die schriftliche Rechenkunst nach Europa brachten, brauchten die Römer noch den Abakus als Recheninstrument.



tionssystem der Ziffern als schriftliches Rechenwerkzeug bewährt, dann müsste es auch ein Gedankenalphabet geben. Dieses referiert dann nicht auf Zahlen, sondern auf Begriffe“, erläutert Sybille Krämer. „Sollte es ihm gelingen, diese Schrift so zu organisieren wie ein Kalkül, dann müsste es also möglich sein, alle wahren Gedanken durch mechanische Symbolmanipulation zu entwickeln und so bei jedem vorgelegten Satz entscheiden zu können, ob er wahr ist oder falsch.“ Abstrakte Werte wie Gerechtigkeit oder Wahrheit sollten fortan mathematisch berechenbar sein.

Eine bahnbrechende Idee. Und in ihrer Zeit auch eine hochpolitische, sagt Sybille Krämer. Denn Leibniz entwickelte seine Philosophie vor dem Hintergrund der Katastrophe des Dreißigjährigen Krieges. Die Wahrheit vom Streit zwischen herrschenden Lehrmeinungen zu emanzipieren, war sein Versuch, eine Universal Sprache jenseits aller Dogmen zu finden. „Die Devise hieß: ‚Streiten wir uns nicht um Interpretationen, sondern setzen wir uns zusammen und rechnen! Dann zeigt sich schon, wer Recht hat.‘“ Mit Mathematik gegen den Krieg? Dass diese verheißungsvolle Vision mathematisch nicht zu realisieren war, bewies schließlich mehr als 200 Jahre später der österreichisch-amerikanische Mathematiker Kurt Gödel.

Die Welt als Zahlenwerk

Doch nicht nur Leibniz arbeitete an der Formalisierung der Zahlensprache: Im selben Jahrhundert erfand Isaac Newton die Infinitesimalmathematik in England. Und obwohl es zu heftigem Streit darüber kam, wer der erste Entwickler gewesen sei, begannen die Menschen von nun an zu verstehen, dass die Mathematik für alle Bereiche des menschlichen Lebens von enormer Bedeutung ist – ob nun für die Naturwissenschaften oder die Erkenntnistheorie.

Das bestätigt Ehrhard Behrends, Professor für Mathematik an der Freien Universität Berlin. Der Wissenschaftler behandelt in seinen Vorlesungen wichtige Bereiche der Naturphilosophie, um seinen Studierenden zu erklären, welche philosophischen Implikationen mit mathematischem Fortschritt einhergehen. In der Geschichte der Mathematik war die Formulierung der Newton'schen Gesetze im 17. Jahrhundert besonders einflussreich: „Jetzt war man der Auffassung, dass man die ganze Welt mit Mechanik erklären könne“, sagt Behrends. „Die Erde stellte man sich vor wie ein großes Uhrwerk, das nach rationalen Gesetzen funktioniert. Die Annahme war: Wenn ich in einem Augenblick alle Zustände kenne, kann ich die Zukunft voraussagen und zugleich rekonstruieren, was jemals in der Vergangenheit passiert ist.“ Mathematikhistoriker bezeichnen diese Denkfigur als *Laplace'schen Dämon*, der sich



die Welt anschaut und alles zurück- und vorausrechnen kann. Diese radikale Vorstellung geht auf den französischen Mathematiker Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827) zurück, der mit der Mathematik alle Menschheitsfragen beantworten wollte.

Wissenschaftliche Überheblichkeit und neue Demut

Die Vorstellung, Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft berechnen zu können, habe aber die Mathematik in eine folgenschwere Hybris getrieben, sagt Behrends. „Die Wissenschaft ging jetzt davon aus, sie könne früher oder später alle Probleme lösen.“ Insbesondere die Theologie habe es in dieser Zeit schwer gehabt, sich gegen die wachsende und immer selbstbewusster werdende Wissenschaft zu behaupten. Ehrhard Behrends beschreibt die Wissenschaftshörigkeit jener Epoche mit einer Anekdote.

Es handelt sich um eine Begegnung, die sich zwischen dem Mathematiker Pierre-Simon Laplace und Napoleon am Anfang des 19. Jahrhunderts ereignet haben soll. Laplace zeigte Napoleon seine Abhandlung über die Himmelsmechanik und erklärte ihm, welche

Der englische Mathematiker Isaac Newton (1643 – 1727) gilt neben Gottfried Wilhelm Leibniz als Erfinder der Infinitesimalmathematik.

Cambridge University DSpace



spektakulären Veränderungen sich in der Physik ereignet haben. Daraufhin fragte Napoleon: „Warum haben Sie dieses Buch über das Weltall geschrieben, aber nicht einmal seinen Schöpfer erwähnt?“ Laplace antwortete selbstsicher: „Diese Hypothese habe ich nicht benötigt.“ Behrends beschreibt diesen Moment als den Höhepunkt der Überheblichkeit.

Inzwischen hat sich die Situation fundamental verändert. Die Mathematik habe gegenüber Fragen der Theologie und der Metaphysik neue Demut gelernt. „Durch die Entdeckung der sogenannten Unschärferelation wissen wir, dass wir den Zustand der Welt niemals genau erkennen können. Seitdem es die Feldtheorie, die Wärmelehre und die Relativitätstheorie gibt, ist Physik nicht mehr ganz so einfach wie in der Vorstellung des 18. Jahrhunderts.“ Insbesondere in der Moderne seien die Naturwissenschaften immer wieder an die Grenzen des Machbaren gestoßen. Das habe auch die Theorien von Leibniz und Newton relativiert.

Platoniker und Formalisten – zwei unterschiedliche Strömungen

Wenn der Wahrscheinlichkeitstheoretiker Ehrhard Behrends auf die Gegenwart zu sprechen kommt und die philosophische Haltung von zeitgenössischen Wissenschaftlern beschreibt, nennt er zwei wichtige Strömungen, zu denen sich die Mathematiker rechnen ließen. „Einerseits gibt es den Platonismus, auf der anderen Seite den Formalismus.“ Der Platonismus gründe auf dem Glauben, dass das, was sich in der Mathematik als wahr herausstellt, vorher schon existiert haben müsse. Diese Annahme beziehe sich auf die platonische Ideenlehre, die besagt, dass die Begriffe, mit denen wir die Erde beschreiben, immer schon in der Welt existierten. „Platonismus in der Mathematik bedeutet also, dass man mathematische Sachverhalte eigentlich nur noch entdecken muss“, sagt Behrends. Die Tatsache, dass die Wurzel aus 2 eine irrationale Zahl sei, sei für einen Platoniker bereits wahr gewesen, als die Menschen noch auf Bäumen lebten. Die Formalisten sähen das ganz anders: „Die wiederum sagen, dass jede Formel und jede mathematische Gleichung ein Menschenwerk sei, ein Konstrukt.“ Wenn es keine Menschen gäbe – so die Schlussfolgerung –, dann gäbe es auch keine Wurzel aus 2.

Ehrhard Behrends vermutet, dass sich die meisten Mathematiker tendenziell als Platonisten verstünden. Das Gefühl, etwas entdecken zu können, sei die treibende Kraft für mathematischen Fortschritt. „Doch wo die Entdeckungen herkommen und wo die Zahlen existieren – das ist eine Frage, die nicht mehr so einfach zu beantworten ist.“ Deswegen hätten Mathematiker philosophische Überzeugungen gerne für sich behalten.

Gesellschaftliche Vereinbarung oder Abbild der Wirklichkeit?

Im Wesentlichen geht es in der Mathematik nach wie vor um Abstraktionen, die einen praktikablen Weltzugang ermöglichen. „Wenn man es ganz genau nimmt, ist jede Zahl eine Idealisierung. Nehmen wir die Zahl 3. Wo ist diese 3 bitte schön?“ Schon allein die Frage nach der Herkunft der Zahl stellt sich als schwerwiegendes Problem heraus, wenn man diese Frage aus philosophischer Perspektive begreift. „3 ist sozusagen das, was meinen

drei Fingern mit anderen drei Fingern und allen anderen Dreihelten gemeinsam ist. Es handelt sich um eine Abstraktion. Mehr lässt sich darüber nicht sagen.“

Mit anderen Worten: Die Mathematik, die mit Exaktheiten operiert, ist eine Wissenschaft, deren philosophische Grundlage sich nicht genau bestimmen lässt. Verschiedene Glaubenshypothesen konkurrieren miteinander: Mathematik könnte eine gesellschaftliche Vereinbarung sein – oder ein Abbild der Wirklichkeit. Beide Hypothesen seien zulässig, sagt Behrends. Letztlich sei dieser Streit aber irrelevant, weil sich Mathematiker bei ihrer Arbeit um diese Fragen nicht scheren müssten. „Irgendwie hat Gott die Welt so eingerichtet, dass man viele Teile seiner Schöpfung mithilfe der Mathematik verstehen kann.“ Hier haben Philosophen und Mathematiker etwas gemeinsam: Was die Welt im Innersten zusammenhält, ist Vertretern beider Disziplinen ein Rätsel. Ehrhard Behrends ist davon überzeugt, dass das auch so bleiben wird – aller Voraussicht und Wahrscheinlichkeit nach.

Prof. Dr. Ehrhard Behrends



Ehrhard Behrends forscht zur Funktionalanalysis und Wahrscheinlichkeitstheorie – und ist ein Mathe-Botschafter: Er schrieb in der *WELT* über 100 Kolumnen zur Mathematik (als Buch *Fünf Minuten Mathematik* erschienen, übersetzt in mehrere Sprachen) und brachte auch so sein Fach einer großen Öffentlichkeit näher. Er kuratierte zudem die „Mathema“-Ausstellung (Technikmuseum Berlin) und war 2008 maßgeblich am „Jahr der Mathematik“ beteiligt. Im Auftrag der Deutschen Mathematiker Vereinigung entwickelte er die Seite www.mathematik.de, europaweit ist er verantwortlich für die Seite www.mathematics-in-europe.eu.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Mathematik
E-Mail: behrends@math.fu-berlin.de

Prof. Dr. Sybille Krämer



Sybille Krämer ist seit 1989 Professorin am Institut für Philosophie der Freien Universität und hatte Gastprofessuren in Tokio, Wien, Graz, Zürich, Luzern inne. Von 2000 bis 2006 war sie Mitglied des Wissenschaftsrates, von 2006 bis 2008 *permanent fellow* am Wissenschaftskolleg zu Berlin. Seit 2007 ist sie Mitglied im ScientificPanel des European Research Council, seit 2008 ist sie Projektleiterin

im Exzellenzcluster TOPOI und Sprecherin des DFG-Graduiertenkollegs Schriftbildlichkeit. 2010 wurde sie in den Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft gewählt.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Philosophie
E-Mail: s.kraemer@philosophie.fu-berlin.de



Smithsonian Libraries

Mangelndes Selbstbewusstsein war kein Problem für den französischen Mathematiker Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827): Auf Napoleons Frage, warum er in seiner Abhandlung über die Himmelsmechanik nicht den Schöpfer erwähnt habe, antwortete Laplace lapidar: „Diese Hypothese habe ich nicht benötigt.“

Die Magie der Zahlen

Für die einen ist es eine 5 – für manch anderen Teufelszeug:
Über die Bedeutung, Mystik und Irrationalität von Zahlen





istockphoto.com/miebbe

VON INA BRZOSKA

Um Zahlen ranken sich allerlei Mythen, denn ihre Symbolkraft ist groß. Die 5 soll diabolisch sein, die 2 weiblich und die 9 vollendend. Warum eigentlich? Philosophiehistoriker Wilhelm Schmidt-Biggemann hat die Entstehung solcher Deutungsmuster erforscht.

Es gibt Menschen, die am Freitag den 13. keine Flügel buchen oder im Hotel niemals ein Zimmer mit der Nummer 13 reservieren würden. Das sogenannte verfluchte siebte Jahr soll Paaren Unglück bescheren. Wenn Professor Wilhelm Schmidt-Biggemann beantworten soll, wie viel Wahrheit in solchen Mythen steckt, muss er erst einmal schmunzeln. Der Philosophiehistoriker kennt die Gründe dafür, dass solche Geschichten entstanden sind. Seit vielen Jahren erforscht er die Symbolik der Zahlen, gilt als Experte auf dem Gebiet.

„Wenn jemand Angst vor einem Freitag, den 13. hat, dann frage ich erst einmal, ob er Christ ist“, sagt Schmidt-Biggemann. „Freitag, das ist der Todestag Jesu, und Judas, das ist der Verräter, der 13. Apostel“, sagt er. Christen könne das bewusst oder unbewusst Unbehagen bereiten. Dass Zahlen aber Einfluss auf das persönliche Schicksal haben, daran glaubt Schmidt-Biggemann nicht. Dass an solchen Tagen nicht mehr Unfälle passieren als an anderen, belegt mittlerweile die Statistik. Dass es zur Häufigkeit von Unglücksfällen überhaupt Untersuchungen gibt, belegt aber auch, wie hartnäckig sich Zahlenmythen halten.

Professor Schmidt-Biggemann, weißer Bart und sonore Erzählstimme, ist ein akademisches Urgestein auf seinem Gebiet. Seit 1979 forscht und lehrt er an der Freien Universität. Philosophie, Theologie und symbolische Mathematik haben den Professor Zeit seiner wissenschaftlichen Karriere beschäftigt.

Woher kommt die Faszination für Zahlen und Codes, warum rätseln Menschen seit Jahrhunderten, was es mit



photocase, dommy

Doch keine Unglückszahl? Dem ADAC zufolge passieren an einem Freitag den 13. nicht mehr Unfälle als an anderen Tagen.

der Bedeutung der 13, der 5 oder der 7 auf sich hat? Laut Schmidt-Biggemann ist es die Mischung aus Rationalität und Irrationalität, die Dialektik des Geheimnisvollen, die Zahlen derart symbolisch auflädt. Einerseits umgebe sie ein Schleier des Unerforschlichen, weil das Geheimnis nie vollkommen gelüftet werden könne. Andererseits hätten sie mit Logik zu tun, denn sie sind berechenbar. Eine Doppeldeutigkeit, die das Rätseln immer wieder neu befeuert: „Zahlen erscheinen uns als absolut rational, und doch erwartet man etwas Rätselhaftes dahinter“, sagt Schmidt-Biggemann. „Es sind alte Geschichten, deren Sinn uns abhandengekommen ist und von denen nur noch die Hülsen übriggeblieben sind.“

Schmidt-Biggemann ist in erster Linie Wissenschaftler und wappnet sich gerne mit der wohl nötigen ironischen Skepsis gegen allerlei verbreitetes Halb- und Unwissen. Das gilt auch für den Mythos um das siebte Beziehungsjahr. „Ob es verflucht ist, sei dahingestellt, aber das Deutungsmuster stammt aus der Schöpfungsgeschichte“, sagt er. In sechs Tagen hat Gott die Welt erschaffen, am siebten Tag ruhte er; daher komme unser Wochenrhythmus. „Nach der 7 kommt erst einmal nichts“, sagt Schmidt-Biggemann. „Deshalb steht die 8 auch für Unendlichkeit.“

Die Zahlenmanie treibt manchmal seltsame Blüten: Einmal nahm Schmidt-Biggemann an einer Radiosendung teil. Es ging um die Taktzahlen aus Bachs Matthäuspassion; Zahlen aus dem großen Chor „Kreuziget ihn“. Ein Wissenschaftler meinte herausgefunden zu haben, dass der Chor, gemessen an der Gesamtzahl der Takte der Matthäuspassion, genau in der Mitte stehe

und wie ein Kreuz komponiert sei. Schmidt-Biggemann zeigte sich skeptisch in der Diskussion, er selbst habe noch nie derartige Berechnungen angestellt, weil er solche Deutungsmuster für unwissenschaftlich hält. Im Kreis der Fans von Zahlenmystik sei er oft der „Ketzer“ unter den Gläubigen.

Trotzdem fasziniert ihn die paradoxe Rationalität der Zahlen und ihre nachhaltige Wirkung auf den Menschen – selbst im 21. Jahrhundert. „Niemand weiß, wie sie entstanden sind, Zahlen haben keinen Zeitindex, sie haben den Anspruch, immer zu gelten“, sagt er. Das Argument, Zahlen seien erst mit dem menschlichen Denken entstanden, hält er aus mathematischer wie philosophischer Sicht für falsch. „Dann ergäben 2 und 2 erst 4, seit es Menschen gibt“, sagt Schmidt-Biggemann. Eine schwierige Vorstellung, einerseits. Andererseits: Wer sonst könnte diese Rechnung vor dem Menschen aufgestellt haben?

Dass diese Gleichung nur aufgeht, wenn man von einer ewigen, einer göttlichen Intelligenz ausgeht, ist ebenfalls ein Merkmal der Zahlensymbolik. „Sie hat meistens einen theologischen, häufig einen jüdischen Ursprung“, sagt Schmidt-Biggemann. 5 ist die Zahl, die über den vierbuchstabigen göttlichen Namen JHWH hinausgeht, deshalb stelle sie die Perfektion des Göttlichen infrage und gelte als diabolisch. Die 2 ist weiblich, weil sie seit dem Paradies zeige, dass es nicht gut ist, wenn der Mann allein bleibt. Die 9 ist perfekt, weil sie die Kraft des dreieinigen Gottes symbolisiere. Als Rheinländer, im katholischen Olpe geboren, erfreut sich Schmidt-Biggemann manchmal an der 11 gerade,



photo: case, complitze

Weil 5 die Zahl ist, die über den vierbuchstabigen göttlichen Namen JHWH hinausgeht, galt sie als Zahl des Teufels.

weil diese keine tiefere Bedeutung habe. „Sie ist religiös nicht besetzt, deshalb feiern wir am 11.11. Karneval“, sagt er.

Besonders in der Tradition des Judentums hat Zahlenmystik einen festen Platz. „Im Hebräischen bedeutet jeder Buchstabe eine Zahl, und jedes Wort hat einen Zahlwert“, erläutert Schmidt-Biggemann. Einige gläubige Juden berechnen deshalb Passagen aus der Thora. Über Interpretation und Deutung erhalten Zahlen Symbolwerte, die über die reine Arithmetik hinausgehen.

„Gläubige hegen die Hoffnung, den zentralen Buchstaben und das zentrale Wort zu erhalten, worin die ganze Kraft der Offenbarung vereinigt ist.“

Eine derartige Mystifizierung von Zahlen bietet viel Stoff für Debatten – esoterischer, aber auch wissenschaftlicher Natur. Schmidt-Biggemann inspirierten sie zu einem seiner großen Forschungsprojekte. Als junger Wissenschaftler hatte er den Religionshistoriker Gershom Scholem kennengelernt, der als Wiederentdecker der jüdischen Kabbala gilt, der mystischen Tradition des Judentums. Da die Kabbala fest in der Thora verwurzelt ist, brachte das den Forscher auf einen Gedanken: Wenn es eine jüdische Kabbala gibt, muss es auch eine christliche Kabbala geben, dachte Schmidt-Biggemann.

Tatsächlich entdeckte er Belege für eine solche zahlenmythische Strömung, die vor allem in der Renaissance Einfluss hatte. Die jüdische Kabbala wurde genutzt, um in ihr nach einem christlichen Sinn zu suchen. Für sein Buch mit dem Titel *Die Geschichte der christlichen Kabbala* hat Schmidt-Biggemann die Genese der christlichen Zahlenmystik nachgezeichnet – vom Spätmittelalter bis ins 19. Jahrhundert. Es ist die erste Monografie auf diesem Gebiet, der erste von vier Bänden ist kürzlich erschienen. „Kabbala ist erheblich mehr als Zahlensymbolik, aber diese ist ein wichtiger Teil davon“, sagt er. Dass sein Lebenswerk, an dem er 15 Jahre arbeitete, ausgerechnet 700 Seiten hat, mag Zufall sein. Schmidt Biggemann sieht es mit mystischer Ironie: „Was ist unter kabbalistischen Bedingungen schon Zufall?“

Prof. Dr. Wilhelm Schmidt-Biggemann

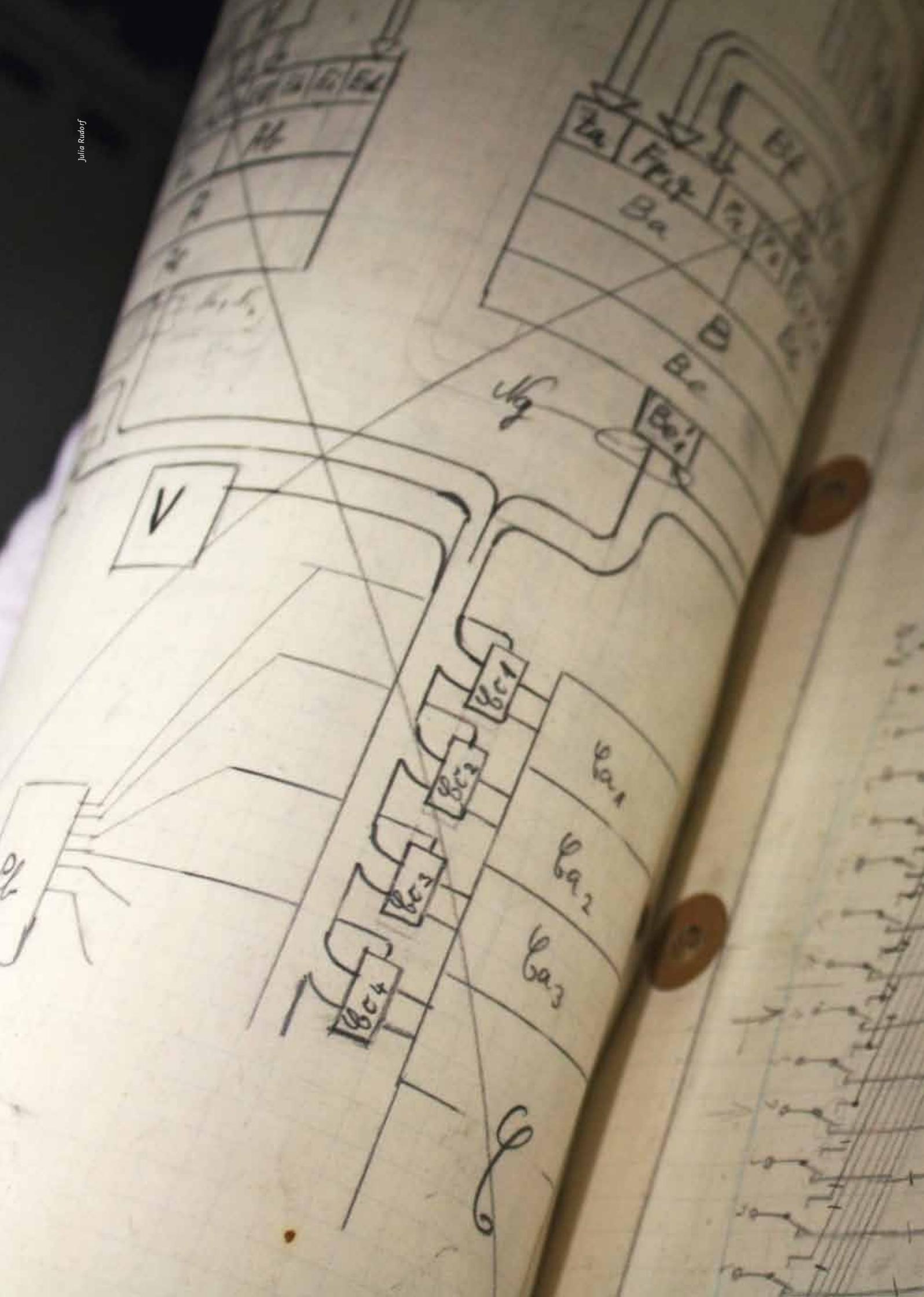


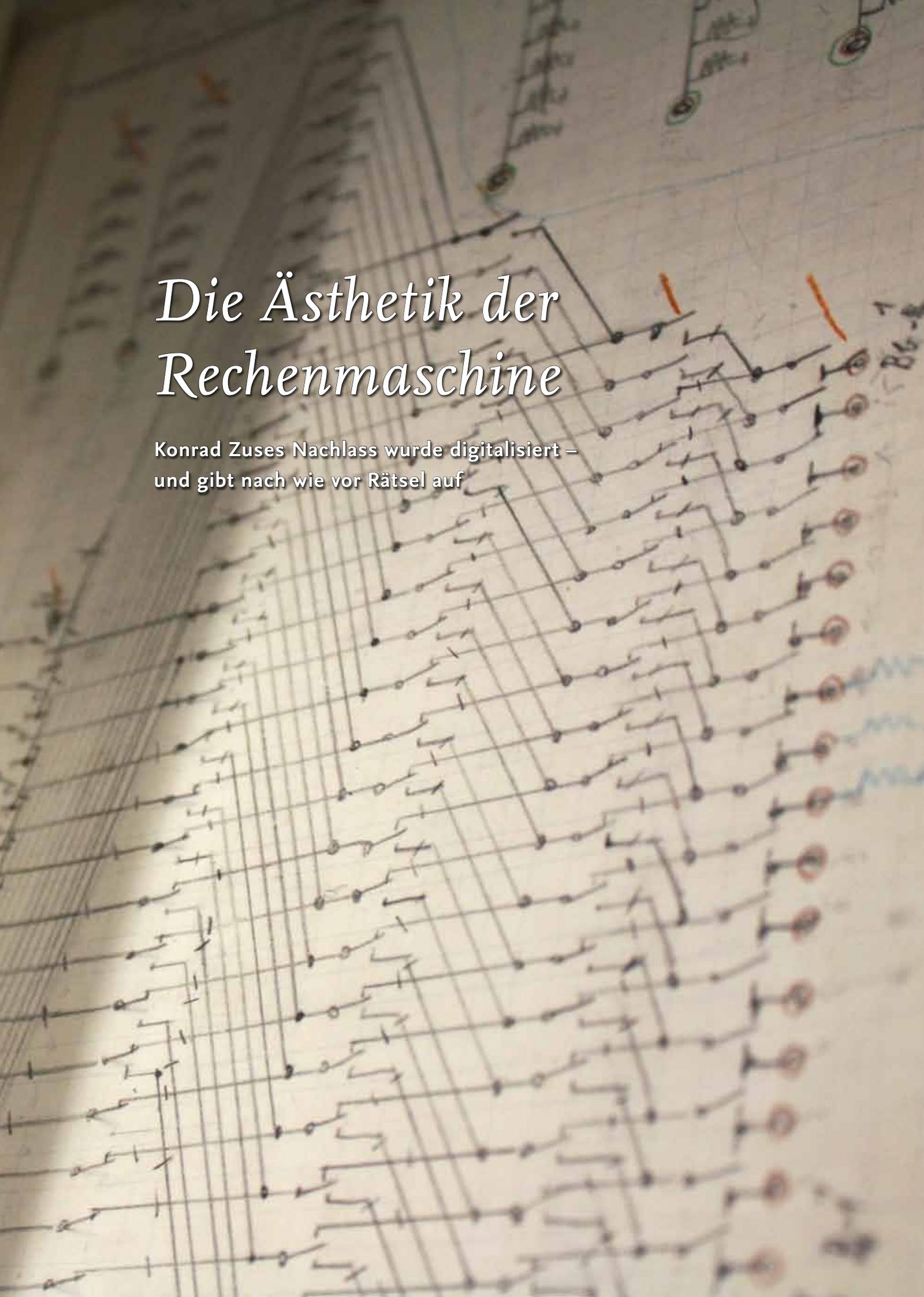
Wilhelm Schmidt-Biggemann lehrt am Institut für Philosophie der Freien Universität und forscht unter anderem zur Geschichte der Philosophie und Philologie in der Frühen Neuzeit, zur Geschichte der christlichen Kabbala und der politischen Theologie. Von 2003 bis 2009 war er Sprecher des von ihm gegründeten Interdisziplinären Zentrums „Mittelalter – Renaissance – Frühe Neuzeit“ an der Freien Universität. Seit 2008 ist er Mitglied des Fachkollegiums Philosophie der DFG und seit 2012 dessen Vorsitzender.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Philosophie

E-Mail: schmibig@zedat.fu-berlin.de



A detailed hand-drawn electrical circuit diagram on aged, yellowed paper. The diagram consists of numerous horizontal lines representing wires, with various components like switches, relays, and lamps connected to them. Some components are circled in red. The drawing is dense and intricate, showing a complex network of connections. The text is overlaid on the left side of the diagram.

Die Ästhetik der Rechenmaschine

Konrad Zuses Nachlass wurde digitalisiert –
und gibt nach wie vor Rätsel auf

VON JULIA RUDORF

Das Zeugnis war nicht besonders gut, „genügend“ die häufigste Bewertung. Mathematik sogar: mangelhaft. Eine Zensur, die Konrad Zuse, 1919 Schüler am Gymnasium Braunsberg, etwas voreilig verpasst bekam: Rechnen war bald eines der besten Fächer des späteren Ingenieurs und Erfinders. Dass er bei der Schönschrift nie über ein „genügend“ hinauskam, erwies sich jedoch als berechtigt. „Besonders ordentlich geschrieben hat Zuse nie“, sagt Dr. Wilhelm Füßl. Der Historiker leitet das Archiv des Deutschen Museums in München. Als oberster Archivar der umfangreichen Sammlung ist Füßl Kummer mit dem Schriftbild großer Denker gewohnt. Die Nachlässe von acht deutschen Computerpionieren haben er uns sein Team schon aufgearbeitet. Mit Zuses Aufzeichnungen kamen 26 Regalmeter mit rund 90.000 Seiten dazu.

Konrad Zuse, 1910 in Berlin geboren, gilt als einer der wichtigsten Rechnerpioniere. Sein Nachlass gelangte erst vor wenigen Jahren an das Deutsche Museum München. Um interessierten Laien auf der ganzen Welt und Forschern den Zugang zum wissenschaftlichen Nachlass zu ermöglichen, begannen die Freie Universität und

das Museum vor zwei Jahren mit der Digitalisierung des Nachlasses.

Eine wissenschaftshistorische Detektivarbeit, die die beiden Einrichtungen untereinander aufteilten. Das Deutsche Museum sichtete, katalogisierte, verzeichnete und ordnete die Unterlagen für die weitere Arbeit von Historikern. Einen weiteren Teil der Sichtung, Analyse und technischen Zuordnung übernahmen Informatiker der Freien Universität. Jetzt steht das Projekt kurz vor dem Abschluss.

Raúl Rojas, Professor am Fachbereich Mathematik und Informatik, hatte Konrad Zuse noch persönlich kennengelernt. 1993, am Rande eines Vortrages des Erfinders im Berliner Zuse-Zentrum Berlin. Rojas, der sich schon länger mit den Rechenmaschinen Zuses beschäftigt hatte, fragte ihn damals nach Details seiner ersten Erfindungen. Von Zuses dritter Maschine, der Z3, waren nämlich nur wenige Details in der Literatur bekannt: „Ich sagte ihm, dass ich gerne gewusst hätte, wie die Maschine funktioniert. Und er sagte: Lesen sie die Patentanmeldung! Ich wusste bis dahin gar nicht, dass das Dokument existierte.“ Zuse schickte Rojas eine Fotokopie der Anmeldung. Zig Seiten, bedeckt mit Schaltplänen. Rojas musste sich zwar erst in die Relais-technik des Rechners von 1941 einlesen. Doch dann war der Groschen gefallen. Gemeinsam mit einem sei-

Wilhelm Füßl ist Leiter des Archivs des Deutschen Museums München. Zuse ist der neunte Computerpionier, dessen Nachlass er aufarbeitet.



Julia Rudorf

ner Studenten erstellte er ein simuliertes Modell des Rechenapparates. „Als wir mit der Simulation fertig waren, merkte ich erst, wie wichtig das eigentlich war. Deshalb habe ich auch einen Kommentar zu den ganzen Schaltungen geschrieben. Wenn man vor dem Nachbau steht und versucht, die Arbeitsweise nachzuvollziehen – das ist fast unmöglich.“ 1998 gab Rojas, mittlerweile ein Experte für Zuses Technik, ein Buch heraus: „Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse“. Parallel dazu entstand die Idee, die Dokumente, Bilder, Kommentare und Texte der Publikation im Internet zu veröffentlichen. Der Grundstein für das „Konrad Zuse Internet Archiv“ war gelegt. Doch warum beschäftigt sich ein Informatiker so intensiv mit der Geschichte einer Technik, die im Vergleich zu den Rechnern von heute eher steinzeitlich wirken?

Ein Teil seiner Faszination habe auch mit der Person des Erfinders und Autodidakten zu tun, erklärt Rojas: „Zuse war ein Lebenskünstler. Und er hatte das Zeug zu einem Langzeitstudenten.“ Was despektierlich klingt, ist eher ein Kompliment. Schließlich hatten Zuses Studienprobleme, etwa mit der Studienfachwahl, mitnichten etwas mit mangelndem Talent zu tun. Eher mit vielen und unterschiedlichen Begabungen. Sein erstes Studium, Maschinenbau an der heutigen Technischen Universität Berlin, brach er nach einem Jahr ab. Wegen seiner künstlerischen Begabung erwog er ein Designstudium, jobbte auch als Reklamezeichner und landete schließlich über einen Abstecher in die Architektur beim Bauingenieurstudium. Das schloss er 1935 mit dem Diplom ab. „Zuse war eine Mischung: Er hatte Einblicke in den Maschinenbau, die frühe Informatik, das Bauingenieurwesen, und die Mathematik – und hatte auf alles eine ästhetische Sichtweise“, fasst es Rojas zusammen.

Mit dem Diplom in der Hand heuerte Zuse als Statiker bei der Henschel Flugzeug-Werke AG an. Eine Arbeit, die ihn bald frustrierte. Damals waren Statiker vor allem „Rechenknechte“. Vor dem Krieg wurden die unliebsamen, weil immergleichen Rechenarbeiten per Hand und Tischrechenmaschine erledigt. Rechenbüros entstanden, die menschliche Rechenleistung anboten. Erste Überlegungen, wie sich diese stupide Rechenarbeit automatisieren ließe, kamen ihm wohl hier.

In einem unveröffentlichten Manuskript von 1936 mit dem Titel „Die Rechenmaschine des Ingenieurs“ beschreibt Zuse, wie so eine Maschine aussehen müsste: „Der Ingenieur hat viel mit festen Formeln zu arbeiten, die immer wiederkehren. Man hat gewisse Ausgangswerte, und die Arbeit besteht nur darin, durch eine bestimmte, für eine Formel immer gleiche Aufeinanderfolge von Grundrechnungsarten zwischen bestimmten Zahlen das Resultat zu berechnen...“ Der Ingenieur, davon war Zuse überzeugt, brauche dafür Rechenmaschinen. Die einfachen Programme sollten auf Lochkarten abgespeichert sein und so funktionieren, dass die Maschine jede verlangte Grundrechnung vollautomatisch ausführen könnte. Schon anhand dieser frühen Konzeption kann man erkennen, dass seine spätere Erinnerung, er habe den Computer erfunden, weil er „zu faul zum Rechnen“ gewesen sei, eher Koketterie war.

Zuse hängt seinen Job bei Henschel an den Nagel und machte sich daran, genau so eine Maschine zu bauen. Das, was man heute vielleicht als erstes IT-Startup Deutschlands bezeichnen könnte, richtete er in der Wohnung seiner Eltern in Kreuzberg ein. Dort entstand auch sein erster Rechner. Zuse, wenig bescheiden, nannte sie Zuse 1, kurz Z1. Auch wenn sie heute als Meilenstein gilt – praktisch war sie nicht. Der Rechner hatte die Größe eines Schrankes, ein lauter Staubsaugermotor sorgte für den Antrieb. Und: Die handgesägten Bauteile verklemmten oft. Zuse baute bald die Folgemodelle Z2 und Z3.

Statt der fehleranfälligen Bleche verwendet Zuse hier das erste Mal Relais, elektrische Schalter. Und er machte das, was Raúl Rojas nach wie vor als „bahnbrechende“ Entwicklung bezeichnet: Er trennte das Rechenwerk vom Speicher. „Das ist bei heutigen Rechnern nicht anders: Ein Prozessor ist sehr komplex, ein Speicher weniger. Würde man beides vermischen, würde das zu Lasten der Speicherkapazität gehen“, erklärt Rojas. Der Bauplan sah deshalb so aus: Im Prozessor verbaut Zuse 600 Relais, im Speicher 1.400. Damit schaffte das Rechenwerk immerhin die vier Grundrechenarten und konnte sogar die Quadratwurzel einer Zahl berechnen. Als Zuse die Maschine 1941 zum Patent anmeldete, wurde sein Antrag vom Reichspatentamt trotz des technisch revolutionären Potenzials abgelehnt – eine herbe Enttäuschung für Zuse, der sich den Rest seines Lebens oft als

Prof. Dr. Raúl Rojas



Raúl Rojas ist Professor für Informatik und leitet die AG Intelligente Systeme und Robotik. Seit dem Ende der Neunzigerjahre beschäftigt er sich mit den Rechenmaschinen von Konrad Zuse und begann damals auch mit einem ersten Digitalisierungsprojekt, dem *Konrad Zuse Internet Archive*. 2000 erschien sein Buch „The first Computers“.

2005 wurde er mit dem Wolfgang-von-Kempelen-Preis für Informatikgeschichte ausgezeichnet.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Informatik

E-Mail: Raul.Rojas@fu-berlin.de

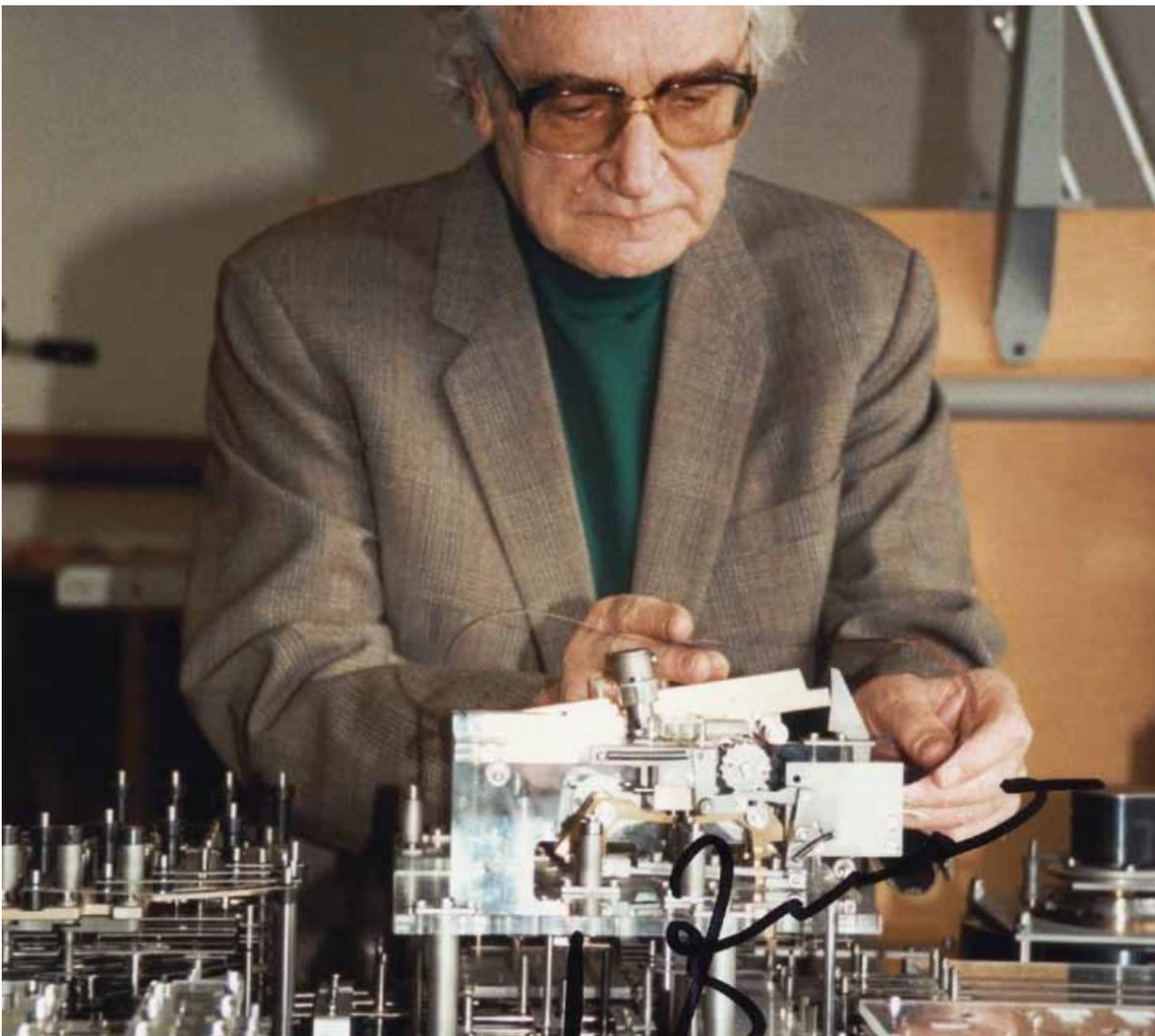
verkanntes Genie verstand. Mit dem Krieg und der Z4 endet die Periode im Schaffen Zuses, die für die spätere Informatik von Bedeutung werden sollte. Für Technikhistoriker sind die Dokumente aus dieser Zeit, die den Krieg unbeschadet überstanden, deshalb auch besonders interessant. Doch sind es auch gerade diese Dokumente im Nachlass, die bis heute für Überraschungen sorgen.

Wilhelm Füßls Büro liegt im dritten Stock des Deutschen Museums in München. Passend für jemanden, der den Überblick bewahren muss. 26 Regalmeter sind für einen Historiker keine unüberwindbare Strecke – schon gar nicht angesichts von 4,5 Regalkilometern, die das Archiv in München insgesamt umfasst. Trotzdem waren die „Akten Zuse“ kein einfaches Unterfangen. Welche Dokumente wann verfasst wurden und deshalb zeitlich zusammengehören, ist für die Wissenschaft teilweise kaum nachzuvollziehen. Daran sind allerdings nicht nur der Krieg und etliche Umzüge Zuses schuld, sondern der Erfinder selbst.

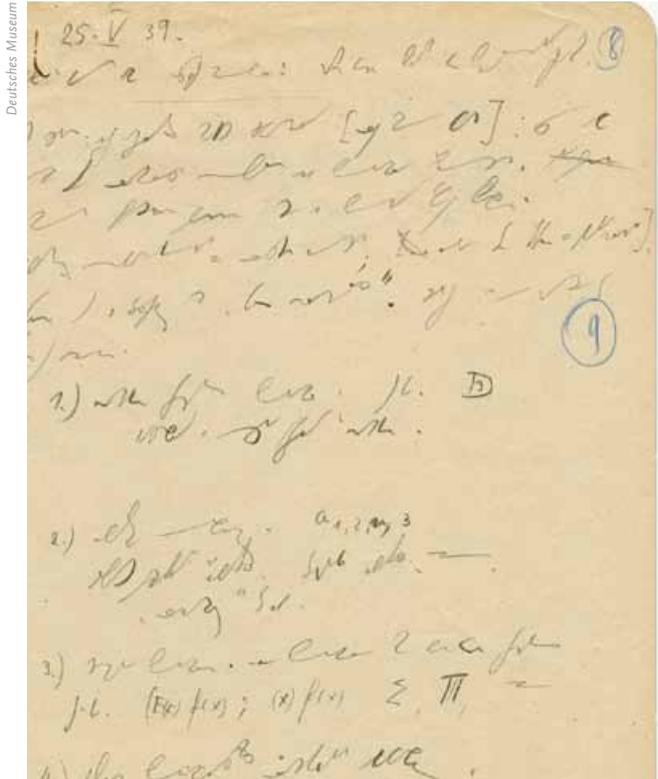
Schon in den späten Siebzigerjahren gab es bereits ein erstes Projekt zur Digitalisierung des Zuse-Nachlasses. Die Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD) wollte wesentliche Teile der Unterlagen sichern. Eigentlich, erzählt Füßl, war geplant, gemeinsam mit dem Computerpionier zentrale Texte auszuwählen, ein Verzeichnis anzulegen, dann auf Mikrofilm zu sichern. Zuse wurde gebeten, dafür die entsprechenden Dokumente aus seinem Bestand auszuwählen. Das tat er, allerdings nicht so, wie es Historiker heute gerne sehen würden: Er brachte seine Aufzeichnungen in eine Reihenfolge, die er persönlich als stimmig empfand. Und nummerierte sie dementsprechend. Dass die Chronologie „Zuse-Verzeichnis“ leider recht eigenwillig ist, mussten die Archivare des Deutschen Museums schon häufig feststellen.

So finden sich heute in zahlreichen Archivmappen Dokumente aus unterschiedlichen Zeiträumen. „Vermutlich wollte Zuse mit seiner Neusor-

Konrad Zuse mit seiner Rechenmaschine Z1 (1988).



Horst Zuse

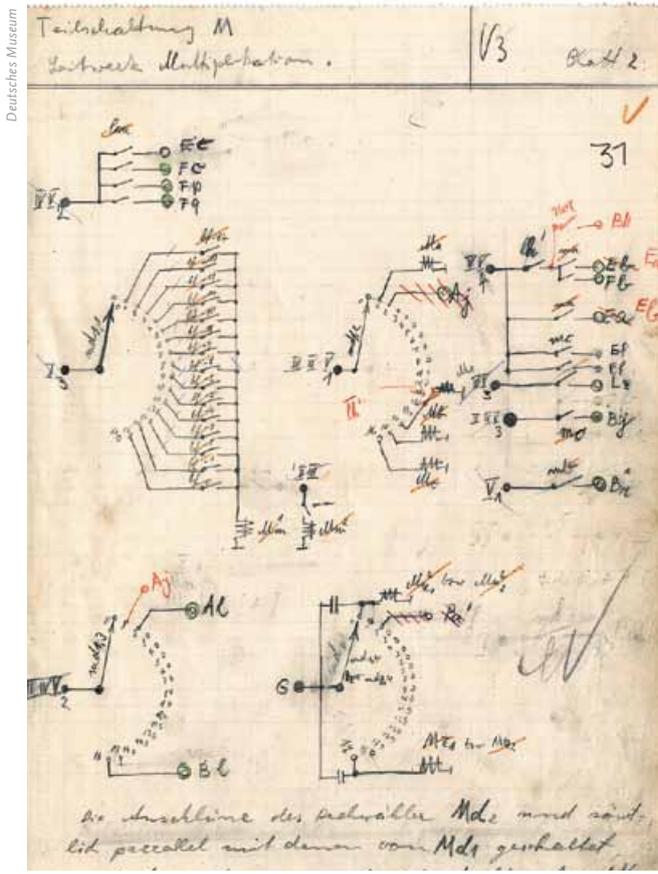


Deutsches Museum

Zuses Stenogramm vom 25. Mai 1939 zu seinen Gedanken rund um einen Versuchsrechner lässt erahnen, wie mühselig die Aufarbeitung seines Nachlasses ist.

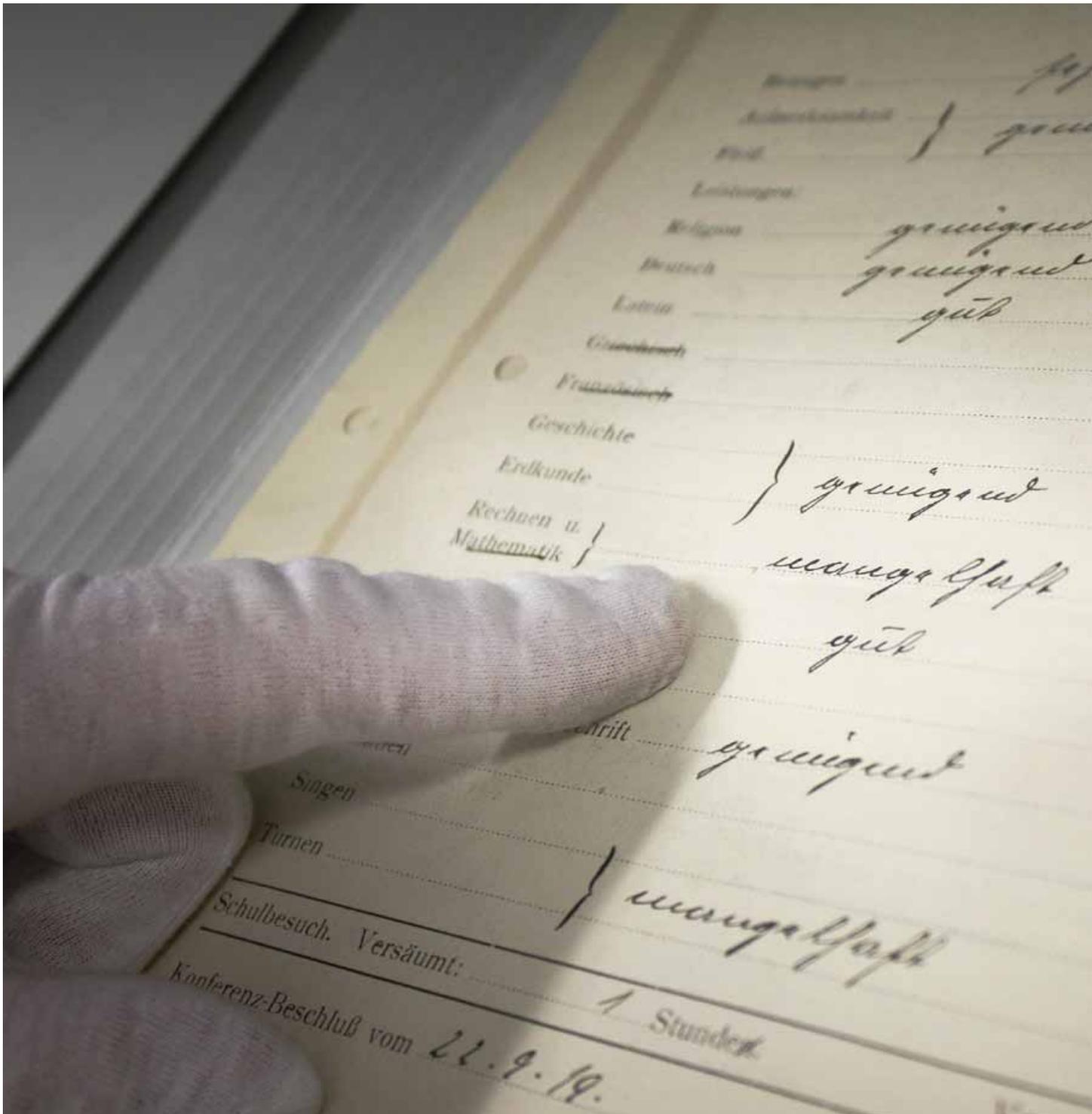
Transkription (Auszug):

Stand der Arbeiten am Versuchsmodell: Rechenwerk fertig aber funktioniert schlecht. Mech. Hirn: Inzwischen Schaltungsmathematik [Lesart unsicher] entwickelt. Seit etwa einem Jahr allmähliches Einfühlen in formale Logik. Viele meiner früheren Gedanken habe ich dort wiedergefunden. (Bedingungskombinatorik = Aussagenlogik; Lehre von den Intervallen = Gebietekalkül)



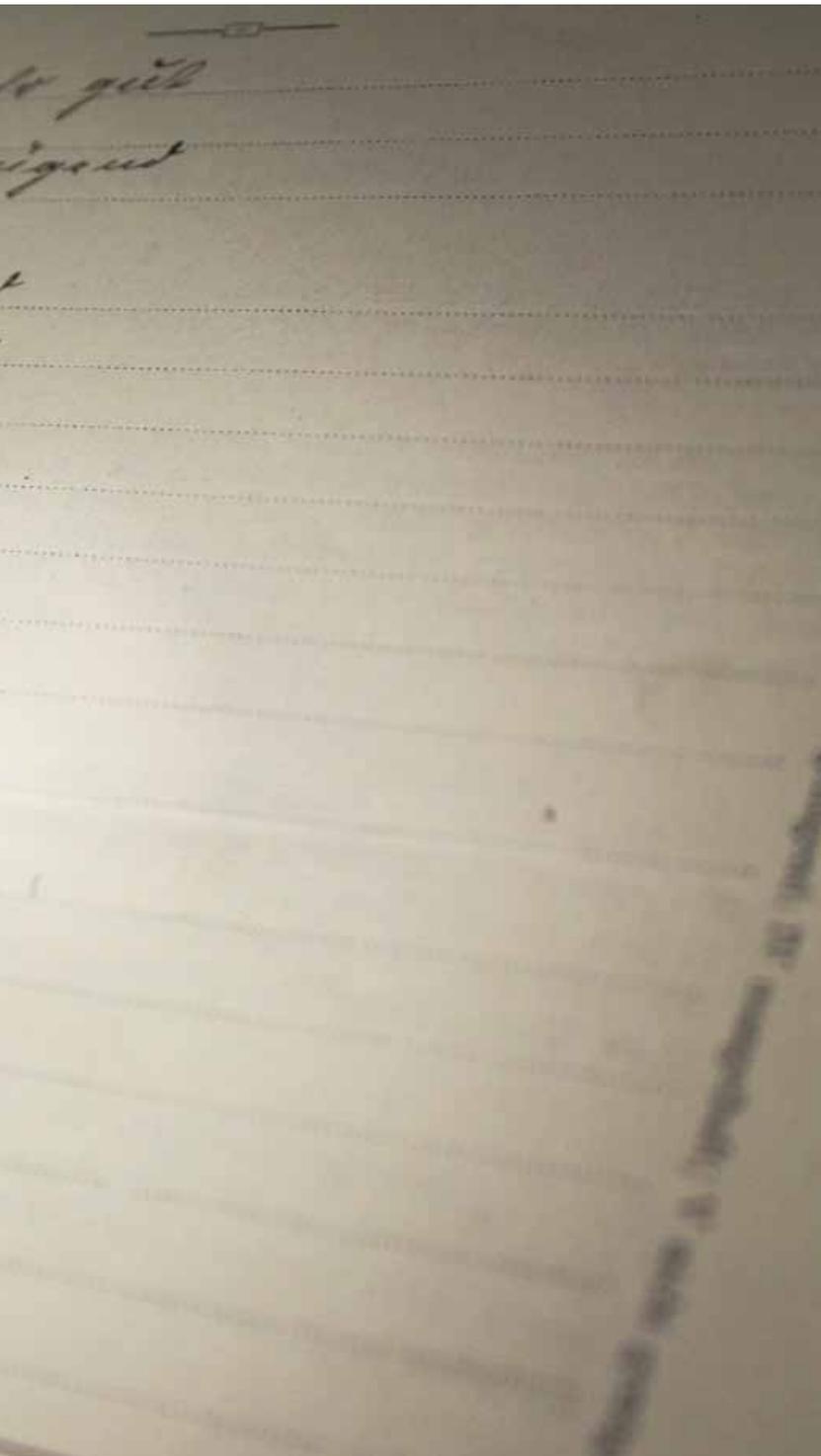
Deutsches Museum

So sahen die Aufzeichnungen für die Operation „Multiplizieren“ in Konrad Zuses Rechenmaschine Z3 aus, die er am 19. September 1940 in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) vorführte. Z3 war der erste vollautomatische, programmgesteuerte und frei programmierbare Rechner. Er bestand aus 600 Relais, einem Speicher für 64 Zahlen – und wog eine Tonne. Leider wurde die Rechenmaschine im Zweiten Weltkrieg zerstört.



tierung bestimmte Ideen in Verbindung bringen und neue Zusammenhänge herstellen.“ Für das GDM-Projekt wurden 569 Dokumente aus dem Gesamtnachlass erschlossen. Längst nicht alles. Doch genug, dass die Aufgabe, alles wieder auseinanderzudröseln, schier unmöglich wird. Die Archivare griffen dabei auch zu ungewöhnlichen Methoden.

Eine Möglichkeit, um zumindest festzustellen, ob Zuses Daten in den Kriegsjahren oder eben erst später aufgeschrieben worden waren, vermutete Wilhelm Füßl im Schreibgerät. Er wendete sich also an das Bayerische Landeskriminalamt: „Ich hatte gehofft, dass sich vielleicht eine Bleistift-Mine aus den Dreißigerjahren von einer aus den Achtzigern unterscheidet“, berichtet er.



Julia Radorf

Als Gymnasiast mangelhaft
in Turnen und Mathematik.
Das sollte sich bald ändern –
zumindest in Mathematik.

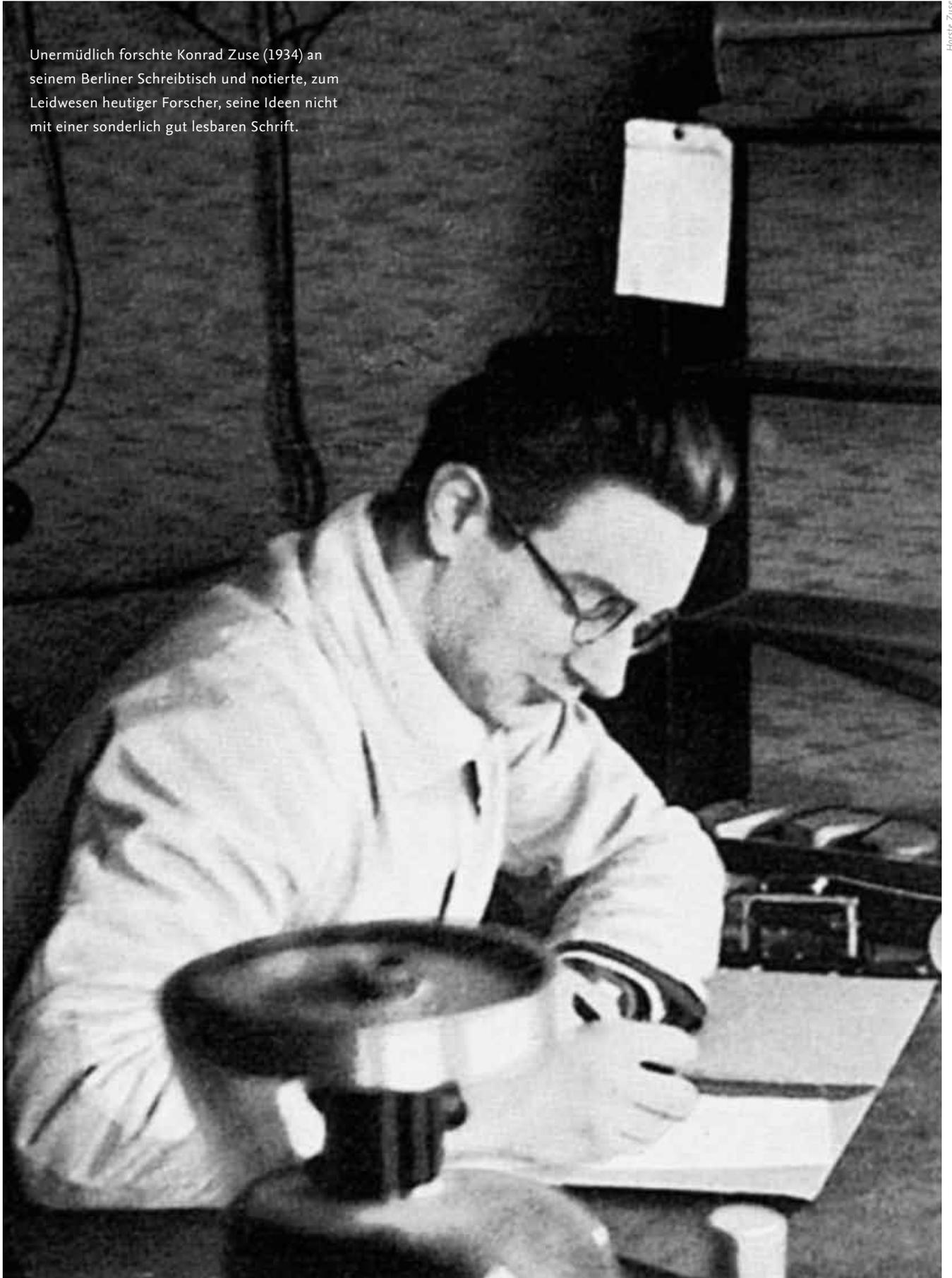
Leider stellte sich heraus: Das ist nur bei Kugelschreibern so – bei Zuses Bleistiftnotizen konnten die bayerischen Beamten leider nicht weiterhelfen.

Ein weiteres Problem waren Zuses Notizen selbst. Denn er pflegte seine Gedanken in Kurzschrift aufs Papier zu bringen: „Etwa 80 Prozent seiner Notizen sind stenografiert“, erklärt Wilhelm Füßl. Bisher eines der

Hauptprobleme der Zuse-Forschung. Denn selbst am Deutschen Museum, wo einige Mitarbeiter selbst noch die Kunst der Kurzschrift-Entzifferung beherrschen, konnte man mit Zuses Notizen wenig anfangen. „Er hat über die Jahre eine eigene Schrift entwickelt“, erklärt Füßl. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) stellte im Rahmen des Programmes „Kulturelles Erbe“



Unermüdlich forschte Konrad Zuse (1934) an seinem Berliner Schreibtisch und notierte, zum Leidwesen heutiger Forscher, seine Ideen nicht mit einer sonderlich gut lesbaren Schrift.



Horst Zuse

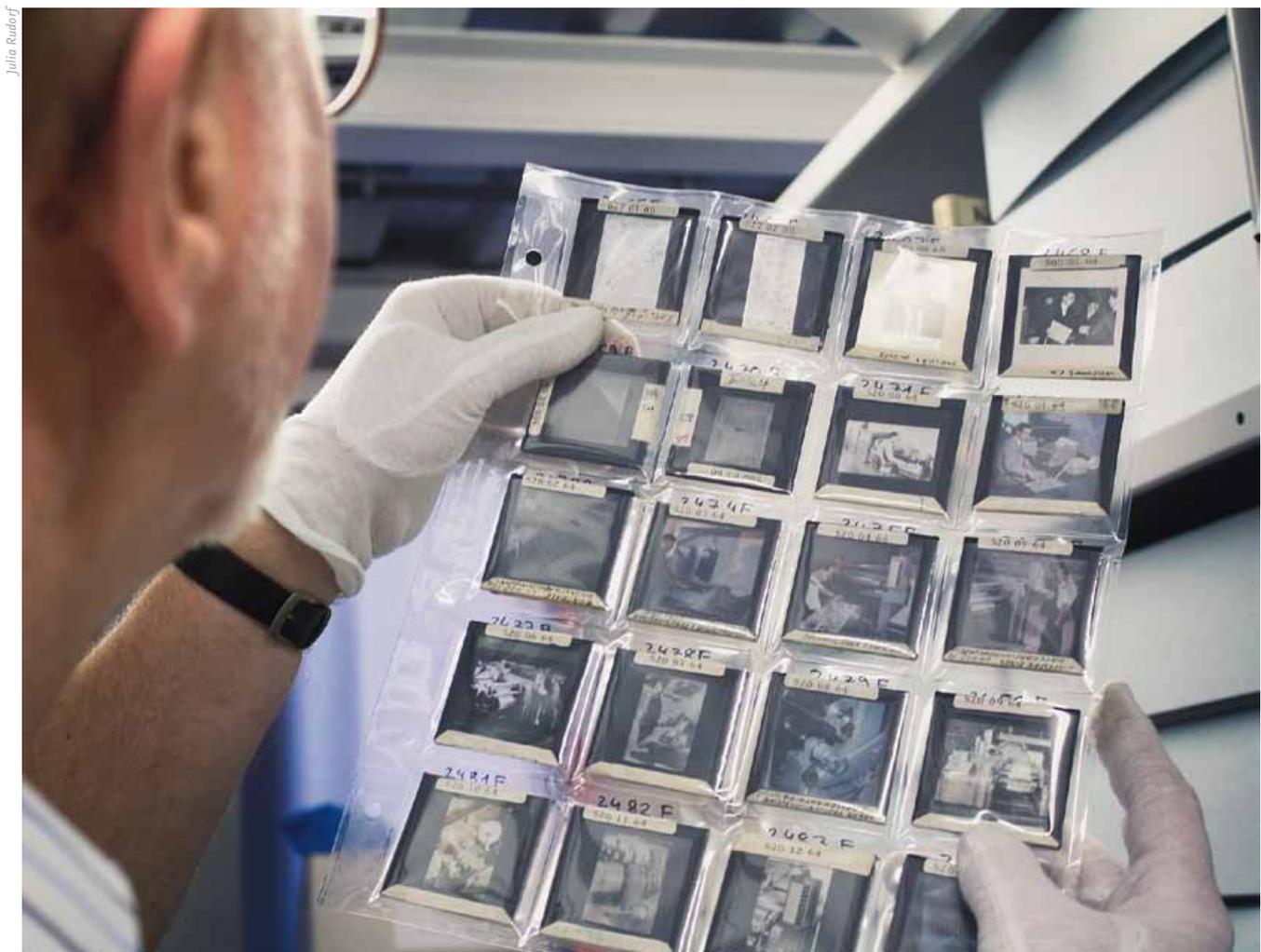
rund 400.000 Euro zur Verfügung, um die Aufzeichnungen des Erfinders zumindest teilweise zu transkribieren.

Allerdings mussten erst Fachleute gefunden werden, die Zuses Aufzeichnungen in die allgemeinverständliche Langschrift zurückübersetzen konnten. Zwei Stenografie-Experten bearbeiten nun schon seit langem die umfangreichen Dokumente. „Vor allem der Anfang war schwierig“, sagt die Stenografin Petra Dischinger. Denn wie geht man mit manuskriptartigen Aufzeichnungen um, in denen es vor Durchstreichungen, Wortänderungen und Neuanfängen wimmelt? Gemeinsam mit Wilhelm Füßl entwickelten die Fachleute einen Transkriptions-Katalog. Mit der Zeit kam auch ein Gespür für die Zuse-typischen Schreibgewohnheiten. Eigene Kürzel, etwa für „Rechenmaschine“, die man auf den ersten Blick auch als „Ring“ missverstehen könnte. Dazu kam seine Eigenart, Zettel mehrfach zu nutzen und spontan zu beschriften. Zahlenfolgen, in denen man vielleicht Teile einer Formel vermutete, stellten sich nachträglich als Zugverbindungen heraus. „Für Zuse war Stenogra-

fie eine reine Gebrauchsschrift“, erklärt Petra Dischinger. Mit den akkuraten Regeln der Kurzschrift nahm es der Erfinder deshalb auch nicht so genau – er stenografierte ja vor allem für den Hausgebrauch. Zum Beispiel warf Zuse in seinen Aufzeichnungen oft „wurde“, „würde“ oder „wieder“ wild durcheinander. Der Konjunktiv spielte für den Erfinder offenbar keine große Rolle.

Dass durch die Transkription erstmals nicht nur die verständlichen Sätze, sondern auch der Prozess von Zuses Überlegungen sichtbar wird, sieht Füßl als großen Fortschritt: „Die neue zeitliche Zuordnung und die teilweise revidierten Überlegungen ermöglichen einen viel besseren Einblick in die Arbeit und das Denken von Konrad Zuse.“ Raúl Rojas geht es auch darum, einen wichtigen Teil des technischen Weltkulturerbes zu bewahren. Und Zuse ein Stück weit die Anerkennung zukommen zu lassen, um die der Erfinder stets gekämpft hat. Konrad Zuse hätte beides sicher sehr gut gefallen.

Zu Konrad Zuses Nachlass gehören viele Dias. Darunter auch Bilder von späteren Rechnern, mit denen Zuses Firma Werbung machte.



Julia Rudorf



Rechnen Sie mit Regen!

Meteorologen der Freien Universität zeichnen auf dem Steglitzer Fichtenberg das Berliner Wetter auf. Bis daraus eine Wettervorhersage wird, braucht es Mathematik, Rechnerleistung – und viel Erfahrung.



VON JULIA RUDORF

Heute ist so ein Tag, da sieht es fast so aus, als gäbe es Berge bei Berlin. Diplom-Meteorologin Katrin Krüger steht auf dem Ausguck des Wasserturms auf dem Fichtenberg in Steglitz und lässt den Blick schweifen. Am Horizont gut zu erkennen ist der Hohe Fläming südwestlich von Berlin. Und die Windräder, die in Brandenburg stehen. Das bedeutet: eine Sichtweite von etwa 50 Kilometern. Eine der Zahlen, mit denen Katrin Krüger gleich den Rechner füttern wird.

Die Messstation des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin ist eine von vielen in Deutschland – und trotzdem etwas Besonderes. Seit mehr als 100 Jahren wird an der Station Berlin-Steglitz das Wetter beobachtet und protokolliert. Nur wenige andere Wetterstationen haben über einen ähnlich langen Zeitraum ununterbrochene Aufzeichnungen. Auch dass die

inzwischen größtenteils automatisch erfassten Messwerte noch durch Beobachtungen von Menschenhand und -auge ergänzt werden, ist bemerkenswert. Denn an vielen Stationen wird das Wetter nur noch automatisch erfasst. „Wir haben deshalb auch detailliertere und umfangreichere Aufzeichnungen über das Wetter. Denn eine Wolkenbeobachtung oder die Erfassung des Straßenzustands bringen maschinelle Aufzeichnungen schnell an ihre Grenzen“, sagt Meteorologe Thomas Dümmel. Er leitet die Arbeitsgruppe Meteorologische Informations- und Kommunikationssysteme.

Festgehalten wird das Wetter selbstverständlich nicht nur auf Papier, sondern vor allem mit dem Computer. Rund um die Uhr sammeln die Meteorologen so die Daten, die Tag für Tag die Basis für die Berechnung der Wettervorhersage bilden.

Dazu wird alles registriert, was ein bestimmtes Wetter ausmacht: Die Art und Menge eines Niederschlags, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, die Temperatur, aus welcher Richtung der Wind kommt und mit welcher



Geschwindigkeit er weht und viele weitere Parameter. Rund um die Uhr erfassen die Wetterbeobachter und Studierenden des Instituts für Meteorologie das Wetter. Zusammen mit den Messungen wird das im Rechner gespeichert. Ein warmer Berliner Sonnentag – mit blauem Himmel so weit das Auge reicht, trockener Luft und Windstille – verwandelt sich dann in Zahlenreihen, verschlüsselt nach den international gültigen Richtlinien der World Meteorological Organization, der WMO. Dieses Wettertelegramm wird online versandt.

Damit fließen die Meldungen der Station Berlin-Steglitz der Freien Universität in das weltweite Netz der internationalen Wetterdienste ein. Alleine in Deutschland besteht das Messnetz des Deutschen Wetterdienstes aus etwa 180 hauptamtlichen und mehr als 2.000 nebenamtlichen Wetterstationen. Nur 39 der hauptamtlichen Stationen in Deutschland sind, wie an der Station Berlin-Steglitz, 24-stündig mit Personal besetzt und beobachten präzise die Wettererscheinungen. So entstehen Tausende Datensätze mehrmals am Tag. Dazu kommen Satellitenaufnahmen, Radar- und Blitzinformationen, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit, nicht nur am Boden, sondern auch in verschiedenen Höhen der Atmosphäre. Ohne Mathematik und Computertechnik würden die Meteorologen dieser Datenflut kaum Herr werden.

Mathematik und Physik als Grundlage der Meteorologie

Dass aus all diesen Werten überhaupt eine zuverlässige Wittervorhersage werden kann, hat damit zu tun, dass Wetter zum größten Teil Physik ist: Thermo- und Strö-



Bernd Wannemacher

Seit 60 Jahren werden die täglichen Wetterdaten in der Berliner Wetterkarte veröffentlicht und auf dem Fichtenberg aufbewahrt.

mungsdynamik bestimmen, wie sich Luftmassen verhalten. „Physik und Mathematik sind die Grundlage der Meteorologie – schon im Studium“, sagt Petra Gebauer, die auf dem Wasserturm für die Datenauswertung und die seit 1952 täglich erscheinende Berliner Wetterkarte zuständig ist (siehe S. 42). Auf Basis der physikalischen Gesetze lässt sich das Wetter mithilfe von mathematischen Gleichungen beschreiben.

Doch die sind ziemlich komplex. Denn um eine Entwicklung des Wetters vorherzusagen, müssen die Modelle nicht nur berücksichtigen, dass sich Temperatur, Wind und Druck über die Zeit verändern, sondern auch räumlich, an verschiedenen Orten und in verschiedenen Schichten der Atmosphäre. Das ist nur mithilfe partieller Differentialgleichungen möglich. Vor etwa 100 Jahren unternahm Forscher die ersten Anläufe, das Wetter mithilfe von Wetterdaten zu berechnen. Der britische Physiker Lewis Fry Richardson gilt als Pionier.

Da Computer Wolkenformen noch nicht selbst erkennen können, müssen Meteorologen wie Georg Myrcik nach wie vor und mehrmals täglich den Himmel beobachten.



Bernd Wannemacher

Bernd Wannenmacher



Ein Relikt aus vergangenen Tagen der Wettermessung: Der Sonnenschein-Autograph. Die Glaskugel bündelte die Sonnenstrahlen auf ein Papier, das wiederum in der Metallhalterung angebracht wurde. Dadurch entstand eine „Brenn-Spur“ auf dem Papier, mit der der zeitliche Verlauf der Sonne aufgezeichnet werden konnte.

Freie Universität Berlin

Ein Hoch, das deinen Namen trägt

Wetterpaten können einem Hoch oder Tief einen Namen geben – und damit die meteorologische Ausbildung an der Freien Universität unterstützen



Einmal den eigenen Namen in allen Medien sehen – das Institut für Meteorologie der Freien Universität macht es möglich. Seit 2002 kann man Wetterpate werden. Für 299 Euro kann man ein Hochdruckgebiet auf den eigenen Namen taufen lassen, für 199 Euro ein Tiefdruckgebiet. Mit einer Einschränkung: Dieses Jahr kann man weibliche Vornamen nur Tiefdruckgebieten geben und männliche Namen nur Hochdruckgebieten. Nächstes Jahr ist es genau umgekehrt. Mit dem Beitrag unterstützt das Institut

die studentische Wetterbeobachtung, mit deren Hilfe jeden Tag rund um die Uhr die Wetter- und Klimabeobachtung an der Station Berlin-Steglitz seit vielen Jahren ununterbrochen fortgesetzt werden kann. Welche Namen noch vergeben werden können und weitere Informationen über das genaue Prozedere finden Sie unter

www.met.fu-berlin.de/wetterpate oder
+49 30 / 838-71226 oder +49 30 / 838-71200.

Seine Überlegung war: Wenn man eine mathematische Gleichung aufstellt, die die physikalischen Gesetze beinhaltet und sie für verschiedene Orte durchrechnet, dann müsste vorherzusagen sein, wie sich das Wetter an diesen Punkten verändert.

In seinem 1922 erschienenen Buch *Weather Prediction by Numerical Process* beschrieb er, wie das zu bewerkstelligen sei. Die Erde müsste mit einem Gitternetz überzogen werden, unterteilt in einzelne Felder mit einer Kan-

tenlänge von 200 Kilometern. Ähnlich teilte Richardson auch die Atmosphäre über der Erdoberfläche in Felder ein. Mit historischen Daten versuchte er zu berechnen, wie sich Wind, Temperatur und Luftdruck in zwei dieser Felder innerhalb von sechs Stunden verändern würden. Richardson rechnete und rechnete, insgesamt sechs Wochen dauerte es. Sein Ergebnis lag trotzdem derart daneben, dass es nicht zu verwenden war. Bis heute gilt seine Arbeit jedoch nicht als wissenschaftshistorischer

Wie wird das Wetter morgen?

Seit 60 Jahren geht die Berliner Wetterkarte dieser Frage nach.



Die Chancen auf einen milden Herbsttag in Berlin standen eher schlecht. Die Vorhersage am letzten Tag im Oktober 1952 deutete auf eine „gewisse Umgestaltung der Großwetterlage“ hin – mit ungewissem Ausgang. Würde sich das Hoch über Skandinavien durchsetzen und „nordrussische Kaltluft“ mitbringen? Oder das „Island-Sturmtief“ mit milder Atlantikluft?

Vor 60 Jahren erschien die erste Ausgabe der Berliner Wetterkarte. Diese zeigte schon damals, dass die Interpretation von Wetterdaten eine Kunst für sich ist: Auf zwei Seiten bot sie mehrere Höhen- und Bodenwetterkarten für Nordeuropa samt Vorhersage zum monatlichen Bezugspreis von damals zwei D-Mark. Begründer war Richard Scherhag, Meteorologe und Professor an der Freien Universität. In seinem Geleitwort zur ersten Ausgabe entschuldigte sich Scherhag für die kleinen Karten – in Nachkriegszeiten war Papier teuer und musste auch für Wetterkarten sparsam eingesetzt werden.

Scherhag hoffte, dass die Berliner Wetterkarte trotzdem das Interesse für „atmosphärisches Geschehen“ wecken und das „Verständnis für die verwickelten Wettervorgänge“ fördern könnte, vor allem bei Schülern. Mittlerweile umfasst die Berliner Wetterkarte

acht Seiten und ist, seit der Deutsche Wetterdienst seine eigene Wetterkarte eingestellt hat, die letzte ihrer Art. Nur auf der Berliner Wetterkarte werden noch jeden Tag Wetterinformationen aus Berlin, Deutschland und der Welt in Kooperation mit dem Institut für Meteorologie der Freien Universität und dem Deutschen Wetterdienst in dieser umfassenden Art und Weise zusammengestellt und archiviert. Etwa 500 Abonnenten hat der Dienst, der heute durch den Verein Berliner Wetterkarte e.V. erstellt wird. Für 12 Euro im Monat bekommen sie täglich eine umfangreiche Analyse meteorologischer Daten und Karten per Post zugeschickt oder können sie online unter www.berliner-wetterkarte.de abrufen. Meteorologin Petra Gebauer, die Stellvertretende Vorsitzende des Vereins Berliner Wetterkarte e.V., hofft, dass das Angebot auch weiterhin genutzt wird, um die Finanzierung zu sichern: „Letztlich geht es auch darum, ein Stück angewandter Wissenschaft fortzuführen.“

Dass die Berliner Wetterkarte von Anfang an die richtigen Schlüsse aus den Wetterdaten zog, belegen die historischen Wetteraufzeichnungen: Der November 1952 begann mit feuchtkalten acht Grad. Das Hoch über Skandinavien hatte sich durchgesetzt.

Flop, sondern als Premiere der numerischen Wettervorhersage.

Fürs Wettermessen wird die Atmosphäre zerteilt

Auch heute funktionieren mathematische Modelle in der Meteorologie im Prinzip ähnlich – denn auch sie nutzen die „Diskretisierung“, also die Zerteilung der Atmosphäre in kleine Einzelabschnitte. Mittlerweile sind diese virtuellen Kästen jedoch sehr viel kleiner als noch zu Zeiten Richardsons: In den Wettervorhersagemodellen des Deutschen Wetterdienstes beträgt der Abstand des horizontalen Gitternetzes zwischen 2,8 und 20 Kilometern. Um die Daten für ein so enges Netz zu berechnen, reicht die Rechenleistung herkömmlicher

Computer nicht. Der Deutsche Wetterdienst nutzt dafür extrem leistungsfähige Rechner, die mehr als 100 Billionen Operationen pro Sekunde ausführen können. Auch die Klimaforscher der Freien Universität sind auf solche Rechenleistungen angewiesen, wenn sie mit Klimamodellen zu weltweiten Veränderungen forschen.

Mehr als ein Dutzend Modelle für die Vorhersage des Klimas und des Wetters gibt es mittlerweile weltweit. Für die Berliner Wetterkarte nutzen die Meteorologen die Ergebnisse des Deutschen Wetterdienstes, aber auch die des amerikanischen und des englischen Wetterdienstes sowie des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage. Das alleine reicht jedoch nicht. Denn noch können die Modelle nicht alle Details einbeziehen, die das Wetter ausmachen. Vor allem, wenn es um regionale Besonderheiten geht.

Regenschauer bleiben an Havel und Wannsee hängen

In Berlin, erklärt Petra Gebauer, sei es beispielsweise oft so, dass Schauerketten aus dem Westen heranziehen, dann aber irgendwo am Wannsee, an der Havel hängen geblieben: „Das Wasser gibt ihnen neue Energie von unten, weshalb die Schauer dann einfach am Westrand der Stadt entlangziehen. Solche Sachen muss man als Meteorologe wissen und in die Vorhersage einbeziehen.“ Die spezielle Disziplin in der Meteorologie, die die Ergebnisse der Rechnersimulationen mit aktuellen Daten und den eigenen Erfahrungen zusammenbringt, heißt Synoptik – einfach übersetzt als „Zusammensehen“. Auch im Wasserturm der Freien Universität arbeiten Synoptiker der Berliner Wetterkarte e. V. jeden Tag daran, aus allen Informationen verlässliche Prognosen zu erstellen. Dazu analysieren sie Hoch- und Tiefdruckgebiete anhand von Isobaren, Linien, die den gleichen Luftdruck anzeigen. Um das Wetter in Deutschland vorherzusagen, werden sie auf Karten eingetragen, die einen Großteil Europas und des Atlantiks anzeigen.

Deutschland befindet sich in der sogenannten Westwindzone – deshalb sind die Drucksysteme über dem Nordatlantik wichtig. Dabei werden Luftmassen definiert und mithilfe von Kalt- und Warmfronten voneinander abgegrenzt. Das Ergebnis auf der Karte sieht dann schon ein bisschen so aus wie die Wetterkarten, die man aus der Tagesschau kennt. In Zusammenschau mit den verschiedenen Computersimulationen entstehen dann die Vorhersagen. Dabei gleichen die Meteorologen auch das aus, was das Wetter immer noch ein bisschen unberechenbar macht – zum Beispiel den Wannsee oder die Havel. Eine einfache Formel, sagt Petra Gebauer, gebe es dafür nicht. „Nur gesunden Meteorologenverstand.“

Dipl.-Met. Thomas Dümmel



Thomas Dümmel forschte bis in die 1980er Jahre zu statistischer Wettervorhersage und Klimamodellen. Später baute er das meteorologische Informationsangebot der Freien Universität Berlin immer weiter aus und entwickelte Software zu Wettervisualisierung. Außerdem initiierte er die „Wetterpatenschaft“, mit der die Wetterbeobachtung und die praktische Ausbildung von Studierenden an der Wetterstation Berlin-Steglitz unterstützt wird.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie
E-Mail: td@met.fu-berlin.de

Dipl.-Met. Petra Gebauer



Petra Gebauer ist Diplom-Meteorologin und arbeitete schon während ihres Studiums auf der Wetterstation in Berlin-Steglitz. Seit 2000 ist sie Expertin für Wetterdatenanalysen und -gutachten am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin. Im Verein Berliner Wetterkarte e.V. arbeitet sie an der Erstellung der täglichen Berliner Wetterkarte mit und engagiert sich in dessen Vorstand für den Erhalt dieser seit 60 Jahren existierenden meteorologischen Institution.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie
E-Mail: petra.gebauer@met.fu-berlin.de



Eine Prognose ist nie sicher

Der Wirtschaftswissenschaftler Helmut Lütkepohl beschäftigt sich mit ökonomischer Prognostik. Im Gespräch erklärt er, warum Vorhersagen in der Euro-Krise trotzdem so schwer fallen.



LEONHARD FISCHL

In der Finanzkrise erreichen uns jeden Tag neue Informationen über Kurs- und Konjunktorentwicklungen, mögliche Blasen und drohende Staatspleiten, die auf den Finanzmärkten große Paniken auslösen können. Die wenigsten Nicht-Ökonomen wissen jedoch, was sich hinter diesen Prognosen verbirgt: Bei den meisten Vorhersagen handelt es sich um stochastische Verfahren, die die Wahrscheinlichkeit von Krisen oder Konjunktur in Zahlen abbilden. Was rapide Kurssteigerungen oder tiefe Abstürze auslösen kann, ist – nüchtern betrachtet – nichts weiter als pure Mathematik. Zumindest in der Theorie.

Helmut Lütkepohl ist Bundesbankprofessor für das Fachgebiet „Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung“ an der Freien Universität Berlin. Er ist einer jener Wissenschaftler, die mathematische Gleichungen entwickeln, um ökonomische Prognosen so zuverlässig

wie möglich zu gestalten. 1981 wurde der Ökonom an der Universität Bielefeld promoviert und lehrt jetzt am Institut für Statistik und Ökonometrie. Sein Spezialgebiet sind sogenannte vektor-autoregressive Modelle, die auf wahrscheinlichkeitstheoretischen Prämissen basieren. Mit ihrer Hilfe werden lineare Modelle entwickelt, um möglichst genaue Vorhersagen zu treffen. „Man versucht, aus den vergangenen Daten eine Struktur herauszudestillieren, die sich in der Zukunft fortschreiben lässt.“ Aus den Daten von gestern kann dann bestenfalls ein realistisches Szenario für Morgen entstehen. Eine Kunst, an der viele Marktteilnehmer interessiert sind. Denn gute Prognosen können einen entscheidenden Informationsvorteil bedeuten.

Scheinbar keine Sicherheit. Nirgends.

Ausgerechnet in der aktuellen Eurokrise gestalten sich Vorhersagen jedoch auffallend kompliziert. Wohin man auch blickt – kein Ökonom kann mit Sicherheit sagen,

Flaggen im Sturm: Die Europäische Finanzkrise ist ein Präzedenzfall – auch für Statistiker.



istockphoto/EdStrock2

was in der Zukunft passieren und welches Szenario mit größter Sicherheit eintreten wird. Damit werden auch Grenzen für abgeleitete Empfehlungen erreicht. Sollte Griechenland aus der Euro-Zone austreten und somit einen Staatsbankrott riskieren? Oder sollte sich das Land zur Euro-Währung bekennen und versuchen, die verbleibenden Schulden zu tilgen? Die Meinungen der Experten gehen auseinander – nicht zuletzt deshalb, weil genauere Vorhersagen fehlen. Die Katze beißt sich in den Schwanz.

Doch warum hat die Prognostik gerade jetzt so zu kämpfen? Das Dilemma basiert vor allem auf der erhöhten Unsicherheitslage, sagt Helmut Lütkepohl.

Der Wirtschaftswissenschaftler, der am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung auch das Doktorandenprogramm des „DIW Graduate Center“ leitet, verweist auf die Einmaligkeit der Situation: Aus vielen unberechenbaren Faktoren ist es kaum möglich, eine zuverlässige Prognose zu bekommen. „Wenn man aus der Vergangenheit die Zukunft prognostizieren will, dann kann man das natürlich nur auf der Basis dessen tun, was schon mal vorgekommen ist. Und wenn so eine Krise ganz neue Aspekte und Dateneigenschaften aufweist, dann muss man das entsprechend berücksichtigen.“

Bislang kein Austritt aus der Eurozone

Zum Beispiel die Variable Griechenland. Den Austritt eines EU-Mitgliedslandes aus der Euro-Zone hat es bisher noch nicht gegeben. Also können die Modelle, die Ökonomen wie Helmut Lütkepohl entwickeln, auch nicht mit verlässlichen Daten aus der Vergangenheit operieren. Der Wirtschaftswissenschaftler vergleicht das

Phänomen mit der Lage von 2008. Damals standen amerikanische Politiker vor der Entscheidung, die Lehman Brothers Bank – damals eine der größten Banken der Welt – pleite gehen zu lassen. Keiner wusste so genau, was bei solch einer Pleite passieren würde, denn ein solches Szenario hatte es bis dahin in keinem Industriestaat gegeben. Ein weiterer unberechenbarer Faktor: die Politik. Wenn es um wichtige ökonomische Entscheidungen geht, könne man nie genau voraussagen, was die Staatschefs beim nächsten Gipfeltreffen beschließen. Weil die mathematischen Modelle mit Daten operieren müssen, die auf der Spekulation der Ökonomen beruhen, steht hinter jedem Ergebnis im Moment ein großes Fragezeichen.

Allgemein gilt: je außergewöhnlicher die Situation, desto unsicherer die Prognose. Doch genau das werde oft unterschlagen, wenn über die Krise berichtet wird. Das ärgert den Ökonomen Lütkepohl. „Modelle müssen immer stark vereinfachen. Man muss sich aber im Klaren sein, dass es wegen dieser Vereinfachung große Unsicherheiten bei den Ergebnissen gibt. Das spiegelt sich in den Medien nicht wider. Da wird häufig nur ein einziger Wert angegeben. Dabei wird in unseren Modellen bei jeder Prognose auch veröffentlicht, wie unsicher der Wert ist.“ Wer sich also auf Voraussagen beziehe, müsse das beachten. Die Erfahrung zeige jedoch: je komplexer die wirtschaftliche Situation, desto größer der Wunsch nach einfachen Erklärungen. Das sei zwar menschlich nachvollziehbar, wissenschaftlich jedoch nicht haltbar.

Bis zu welchem Punkt kann die Mathematik helfen?

Auch bei der Interpretation von Prognosen dürfe man nicht vergessen, wie sie zustande kommen. Dass ein Staat eine niedrige Wirtschaftsleistung erwartet, das könne man berechnen. Eine eindeutige Antwort, was man als nächstes tun müsste jedoch nicht. Deshalb, so Lütkepohl, könne man Empfehlungen nur mithilfe eines ideologischen Modells, das subjektive Faktoren beinhaltet, ableiten. Wenn die Mathematik nicht mehr weiterhilft, kommen konkurrierende Denkschulen und ökonomische Vorstellungen ins Spiel.

Das kann man jetzt auch bei der Griechenland-Krise beobachten. Verschiedene Ökonomen geben unterschiedliche Handlungsanweisungen. Und niemand weiß mit Sicherheit, welche Lösung unter den vielen möglichen die richtige ist. Ein bisschen sei es wie bei der Wettervorhersage: Ob es morgen regnet, kann man noch mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen. Die Prognose für die nächste Woche fällt schon viel schwieriger aus. Und was dann tatsächlich passiert, das ist immer noch eine ganz andere Geschichte.

Prof. Dr. Helmut Lütkepohl



Helmut Lütkepohl ist seit 2012 Bundesbankprofessor für „Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung“ an der Freien Universität und Leiter des DIW Graduate Center. Zuvor war er unter anderem Professor für Ökonometrie am European University Institute in Florenz (2002 bis 2011) und an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt Universität zu Berlin (1992 bis 2001). Er ist zudem Mitherausgeber wissenschaftlicher Zeitschriften wie *Econometric Theory* und Autor verschiedener Bücher wie „New Introduction to Multiple Time Series Analysis“.

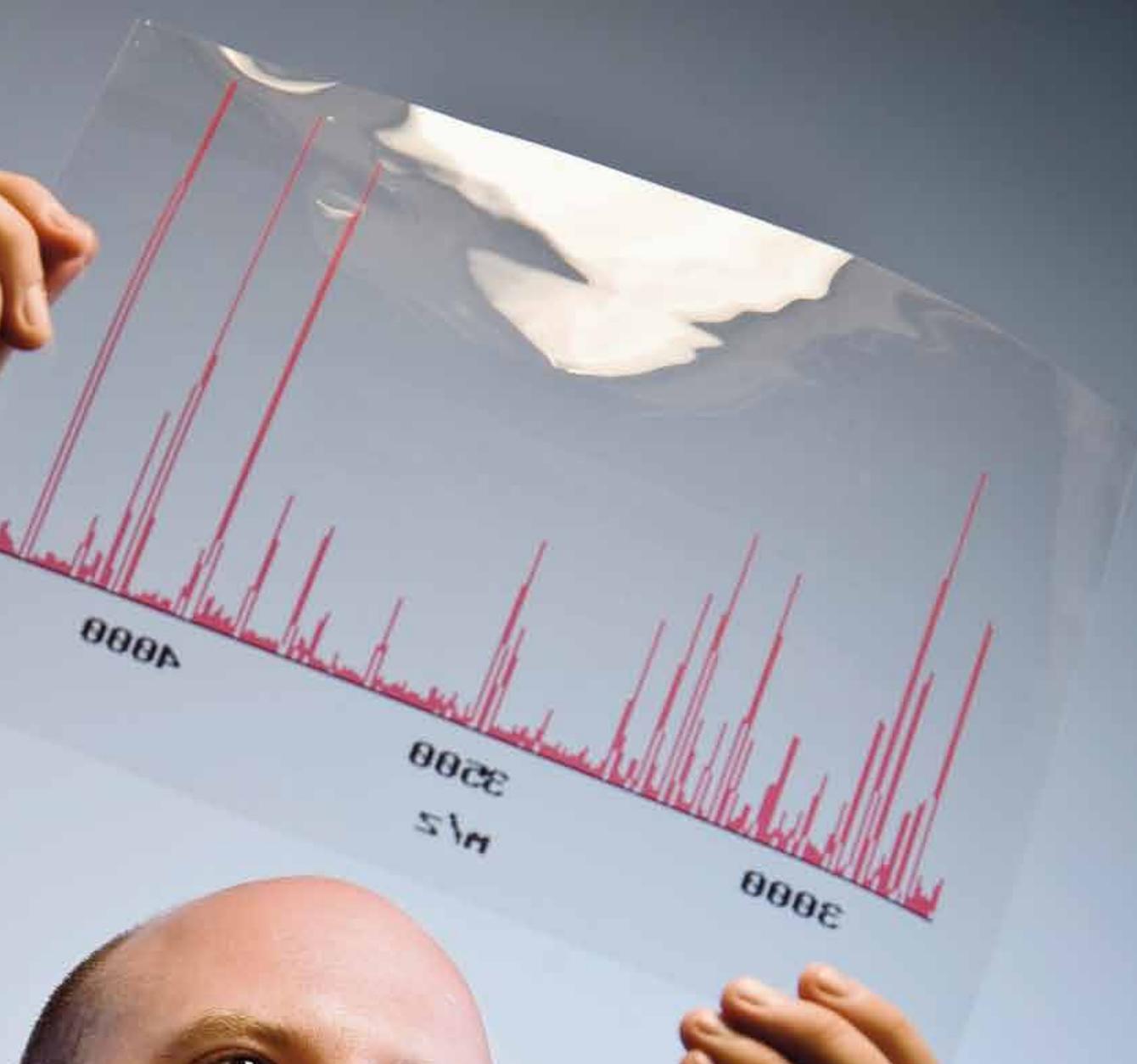
Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Statistik und Ökonometrie
E-Mail: hluetkepohl@diw.de

Zuses Erben

Das MATHEON ist eines der größten Forschungszentren der Mathematik. Vom ersten Moment an dabei: das Zuse-Institut auf dem Campus Dahlem







VON SVEN LEBORT

Lebte Konrad Zuse heute noch, er wäre sicher beteiligt am Forschungszentrum MATHEON. Einst erfand er die ersten Rechenmaschinen, heute nutzen seine wissenschaftlichen Nachfolger leistungsstarke Rechner und die Mathematik, um chirurgische Eingriffe zu simulieren, Krankheiten zu erkennen und zu heilen. Dafür reicht manchmal schon ein einziger Tropfen Blut.

Dass Berlin mittlerweile die Hauptstadt der angewandten Mathematik ist, hat auch etwas mit Peter Deuflhards Sofa zu tun. Auf dem dunklen Ledersofa in Deuflhards Büro im Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) fassten Deuflhard und sein ZIB-Kollege Martin Grötschel, Professor an der Technischen Universität Berlin im Jahr 2001 den Entschluss, Berlin müsse sich auf eine Ausschreibung der Deutschen Forschungsgesellschaft DFG zu bewerben. Es ging um etwas damals völlig neues, etwas sehr großes: Die Idee von DFG-Forschungszentren stand im Raum. Deuflhard und Grötschel entwickelten die Vision eines hochschul- und institutsübergreifenden Zentrums für angewandte Mathematik. „Wir kamen zu dem Schluss: Wir können es uns partout nicht leisten, diese Ausschreibung zu ignorieren. Wir wussten, dass es berlinweit in der Mathematik genug kluge Köpfe gibt, um etwas Außergewöhnliches zu wagen, wenn alle drei Universitäten zusammenarbeiten“, sagt Deuflhard, der nicht nur hochdekorierter Mathematikprofessor an der Freien Universität ist, sondern auch Gründer und Präsident des Konrad-Zuse-Zentrums auf dem Dahlemer Campus. Sie konzipierten gemeinsam mit Volker Mehrmann, Technische Universität Berlin und heute Sprecher von MATHEON, zuerst in zwei Tagen das Bewerbungskonzept und dann mit weiteren Kollegen der drei Universitäten und des Weierstraß-Instituts für Angewandte Analysis und Stochastik den umfangreichen Vollertrag.

Das erste Forschungszentrum für die Anwendung der Mathematik

Nach einem Bewerbungsmarathon – zunächst hatten sich 89 Bewerber gemeldet – setzte sich Berlin 2002 schließlich durch: Das erste DFG-Forschungszentrum für Anwendung der Mathematik in den Schlüsseltechnologien mit einer Laufzeit von bis zu zwölf Jahren und einer Förderung von 5,6 Millionen Euro im Jahr entstand in der Bundeshauptstadt. 200 Forscher in rund 70 Projekten arbeiten seit mehr als zehn Jahren an Problemen der angewandten Mathematik in den Schlüsseltechnologien – von Verkehrs- und Kommunikations-

netzwerken über Verfahrenstechnik und Finanzmathematik bis zu Lebenswissenschaften unter Einschluss der Medizin. Letzteres ist ein Bereich, an dem vor allem die Freie Universität stark vertreten ist. Die einzelnen Teams werden dabei nicht „mit der Gießkanne“ finanziert, wie Deuflhard es nennt, sondern müssen sich innerhalb des Zentrums mit ihren Projekten um Förderung bewerben – Nachwuchswissenschaftler ebenso wie arrivierte Professoren. Einmal im Jahr hat jeder zehn Minuten Zeit, vor dem Plenum des MATHEON sein Forschungsprojekt vorzustellen. Dann wird fünf Minuten debattiert, am Ende entschieden. 80 Projekte bewarben sich beim letzten Zentrumstag, 50 wurden finanziert. „Ein sehr gutes, sehr gerechtes Modell, das längst Schule gemacht hat“, lobt Peter Deuflhard.

Bevor der Chirurg den ersten Schnitt setzt, wird die Operation am Rechner simuliert

Dass Benedikt Huber (Name geändert) schmerzfrei kauen kann und sich ohne Scheu in die Öffentlichkeit wagt, hat viel mit Mathematik und einiges mit MATHEON zu tun. Und natürlich mit der Fertigkeit seiner Ärzte. Benedikt Huber war einer der ersten Patienten, dessen Chirurg einen Eingriff an seinem Kinn – es war etwas zu lang geraten – vorher am Computer probieren konnte. Die Mathematik dazu kam von Peter Deuflhard. Seine Forschung ermöglichte eine Software, die nach einer Vermessung von Hubers Schädel berechnen konnte, wie das Gesicht aussieht und wie der Kiefer funktioniert, wenn der Chirurg den Schnitt an einer bestimmten Stelle ansetzt. Es zeigt auch, wie sich das Ergebnis verändert, wenn der Schnitt weiter vorne oder hinten ausgeführt wurde, wenn er länger oder kürzer wird. Bis dahin konnten Ärzte das Ergebnis nur mithilfe aufwändiger Plexiglasmodelle simulieren – das war teuer, kostete viel Zeit und erwies sich bei gewünschten Änderungen als unpraktisch. Mit Deuflhards Algorithmen hingegen sind Prognose-Genauigkeiten von 0,5 bis 0,1 Millimeter möglich. Dazu muss das Computerprogramm partielle Differentialgleichungen lösen, was wiederum auf Gleichungen mit rund einer viertel Million Unbekannten führt. „Sie können das entweder unelegant lösen, dann dauert es Monate, oder elegant, dann dauert es Minuten“, sagt Deuflhard. Monate wären viel zu aufwändig für die Operationsplanung, dank Deuflhards Algorithmen aber schafft das ein handelsüblicher PC heute in wenigen Minuten. Doch um die Veränderungen im Gesicht überhaupt berechnen zu können, benötigt das Programm ein dreidimensionales Modell vom Kopf des Patienten. Auch hier kommen die Forschungen aus dem MATHEON der Medizin zugute. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, aus den einzelnen Schnittbildern des Kopfes, die ein Computer- und ein Magnetresonanztomo-

Sie wollen fundiert informiert sein?



Dann ist das Wissenschaftsmagazin **fundiert** genau das Richtige für Sie. Zwei Mal im Jahr informieren wir Sie **fundiert**, interdisziplinär, vor allem aber allgemeinverständlich über ein aktuelles Forschungsthema, das die Gesellschaft bewegt. Wissenschaft aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten, neue Perspektiven aufzuzeigen und Traditionslinien erkennbar werden zu lassen – das ist unser Ziel für **fundiert**. In Zeiten knapper Kassen können Sie uns mit einer Spende helfen, **fundiert** auch künftig auf dem gleichen Niveau anzubieten. Ihre Hilfe ist uns willkommen – natürlich steuerlich abzugsfähig. Herzlichen Dank. *Die Redaktion*



Überweisung/Zahlschein (Name und Sitz des überweisenden Kreditinstituts) _____ (Bankleitzahl) _____	Konto-Nr. des Auftraggebers _____ Beleg/Quittung für den Kontoinhaber Empfänger ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT e.V. Berliner Sparkasse Kto: 101 00 101 11 BLZ: 100 500 00 Betrag: Euro, Cent _____ Verwendungszweck SPENDE fundiert - Magazin Datum _____ Name _____ Straße _____ Ort _____
Empfänger (max. 27 Stellen) ERNST - REUTER - GESELLSCHAFT Konto-Nr. des Empfängers 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 Kreditinstitut des Begünstigten BERLINER SPARKASSE Betrag: Euro, Cent EUR _____ Verwendungszweck Spende fundiert - Magazin PLZ und Straße des Spenders (max. 27 Stellen) Kontoinhaber: Name, Vorname/Firma, Ort Konto-Nr. des Kontoinhabers _____ 20	SPENDE
Bitte nicht vergessen: Datum _____ Unterschrift _____	

Die ausgefüllte Einzugsermächtigung senden Sie bitte an die Ernst-Reuter-Gesellschaft e.V.
Kaiserswerther Straße 16 – 18, 14195 Berlin oder per Fax an 030 – 838 73442.

Einzugsermächtigung

Ich ermächtige die Ernst-Reuter-Gesellschaft widerruflich, einmal jährlich eine Spende von dem unten genannten Konto im Lastschriftverfahren abzubuchen. Die Bedingungen der Teilnahme am Lastschriftverfahren erkenne ich an.

Betrag: _____

Verwendungszweck: **fundiert**-Spende

Name, Vorname, Firma: _____

Adresse: _____

E-Mail: _____

Name des Geldinstituts: _____

Bankleitzahl: _____

Kontonummer: _____

Datum, Unterschrift des Kontoinhabers: **X** _____



Kennen Sie die Ernst-Reuter-Gesellschaft?

Immer wieder hat sich Ernst Reuter während seiner Amtszeit als Regierender Bürgermeister von Berlin für die Gründung einer FU-Fördergesellschaft eingesetzt. Sein Wunsch wurde nach seinem Tod am 29. September 1953 als Vermächtnis verstanden, und am 27. Januar 1954 wurde die Ernst-Reuter-Gesellschaft (ERG) gegründet. Die ERG unterstützt und fördert die Freie Universität Berlin ideell und materiell, um sie als Ort geistiger Auseinandersetzung, demokratischer Kultur und innovativer Ideen zu erhalten und auszubauen. Die ERG ist als gemeinnütziger Verein anerkannt. Spenden an die ERG sind steuerlich absetzbar.

Mehr über die Aktivitäten der ERG und ein Antragsformular für die Mitgliedschaft finden Sie im aktuellen **wir**-Magazin und im Internet unter www.fu-berlin.de/alumni/erg.

Herzlichen Dank!

Sie unterstützen mit Ihrer Spende die Freie Universität Berlin.

Nach dem Freistellungsbescheid des Finanzamtes für Körperschaften I in 13347 Berlin (Steuer-Nr. 640/55022) vom 30. September 2009 nach § 5 Abs. 1 Nr. 9 KStG sind wir von der Körperschaftsteuer befreit und als gemeinnützig anerkannt.

Ihre Spende ist steuerabzugsfähig. Dieser Abschnitt dient in Verbindung mit dem Kontoauszug bis 100,00 EUR als Spendenquittung.

Auf Wunsch stellen wir gerne eine separate Spendenbestätigung aus.

ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Freunde, Förderer & Ehemaligen
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN E. V.



graph erzeugen, ein dreidimensionales mathematisches Modell zu gewinnen, an dem die Algorithmen rechnen können. Ein klassisches Röntgengerät liefert die Informationen über die Knochen, die Tomographen jene vom Gewebe, den Muskeln und den Sehnen. So bleibt bei der Platzierung des Schnitts mit dem Skalpell – genauer: mit der Oszillationssäge – wenig dem Zufall überlassen. Das funktioniert mittlerweile mit nahezu jeder Operation am Schädel zuverlässig und wurde hundertfach erprobt, sagt Peter Deuffhard. Lediglich der Augenbogen bereitete den Forschern wegen einiger Besonderheiten seines komplizierten Aufbaus noch eine Weile Kopfzerbrechen. Peter Deuffhard indes war das Gesicht irgend-

wann nicht mehr genug: Er arbeitet mit seinen Kollegen mittlerweile an der Prognose des Operationserfolgs an weiteren Körperteilen. Als besonders schwierig erwies sich das Knie, ein hochkomplexes Organ, das sehr komplexe Bewegungen ausführt und mit dem sich Deuffhard zusammen mit seinem Kollegen Ralf Kornhuber von der Freien Universität eingehend beschäftigt hat. „Das haben wir am Ende geknackt, obgleich sich andere Kollegen jahrelang erfolglos daran versuchten“, sagt Deuffhard heute. Seine Vision: Irgendwann kann ein Programm jedes Operationsresultat an jedem Körperteil prognostizieren, vorausgesetzt die Operation gelingt.

Dass ein Arzt, wenn er den Verdacht hat, ein Patient könnte an einer Grippe leiden, bisher mehrere Tage auf ein Testresultat aus dem Labor warten musste, um Sicherheit zu erlangen, findet Tim Conrad recht umständlich. Er würde das Problem gern mathematisch lösen. Conrad ist Bio-Informatiker an der Freien Universität, und seine Arbeitsgruppe befasst sich mit der Analyse biologischer Muster. Ohne MATHEON, sagt er, gäbe es diese Arbeitsgruppe gar nicht. Angefangen hat alles mit einem Projekt zur Proteomanalyse. Als Proteom wird die Gesamtheit aller Proteine in einem Lebewesen bezeichnet. Das menschliche Proteom besteht aus zigttausend verschiedenen Eiweißen in verschiedensten Konzentrationen, darunter auch Hormone und Peptide.

Beim Analysieren des Proteoms kommen selbst beste Rechner an ihre Grenzen

Um diese vielen Milliarden Moleküle zu analysieren, scheidet Handzählung weitgehend aus: Computerhilfe ist unerlässlich. Doch selbst moderne, leistungsfähige Computer kommen an ihre Grenzen, wenn sie solche Datensätze in kurzer Zeit analysieren müssen. Mehrere Stunden benötigt ein handelsüblicher Rechner für die statistische Auswertung des Proteoms. Conrad verkürzte diese Zeit, indem er eine Spielkonsole für seine Zwecke nutzte – die ist jedem handelsüblichen Rechner an Vielseitigkeit weit unterlegen, eignete sich aber für die laut Conrad „strunz dumme“ Aufgabe des Proteom-Auszählens hervorragend. Mittlerweile ist auch Conrad mit seinem Team ein paar Schritte weiter: Das Projekt, mit Statistik im Milliarden Informationen umfassenden Proteom bestimmte Muster zu erkennen, um etwa Lungenkrebs in einem Stadium zu erkennen, in dem noch kein anderer Test anschlägt, ist abgeschlossen und soll in den nächsten zwei Jahren auf den Markt kommen. Das Verfahren könnte vielen Menschen das Leben retten, denn Lungenkrebs ist in einem frühen Stadium noch sehr gut und in einem späten Stadium fast nicht mehr heilbar. Zudem erspart die Proteom-Analyse dem Patienten eine aufwändige und schmerzhaftige Lungenspiegelung, ein Tropfen Blut genügt. Tim Conrad indes

Dr. Tim Conrad



Tim Conrad studierte Bioinformatik und Informatik und promovierte in der Arbeitsgruppe „BioComputing“ der Freien Universität. Seit Oktober 2008 leitet er dort die Nachwuchsgruppe „Computational Proteomics“ – und er kann Wissenschaft vermitteln: Für die Zusammenfassung seiner Doktorarbeit (Blutige Fingerabdrücke aus der Playstation) erhielt er den Klaus-Tschira-Preis für verständliche Wissenschaft. Außerdem ist er Geschäftsführer der inbion GmbH – ein Bioinformatik-Dienstleister und eine Ausgründung aus der Freien Universität.

Kontakt:

Freie Universität, Institut für Mathematik
E-Mail: conrad@mi.fu-berlin.de

Prof. Dr. Dr. h.c. Peter Deuffhard



Peter Deuffhard ist seit 1986 Professor am Institut für Mathematik (Numerische Analysis / Scientific Computing) der Freien Universität. 1986 gründete er das Zuse-Institut Berlin (ZIB) auf dem Campus in Dahlem, seit 1987 ist er dessen Präsident. 2002 war er Mitgründer des DFG Forschungszentrums MATHEON und ist dort seit 2002 auch Vorstandsmitglied. Deuffhard forscht unter anderem zur numerischen Mathematik sowie der mathematischen Modellierung mit den Anwendungsschwerpunkten Medizintechnik, Biotechnologie und chemische Verfahrenstechnik.

Kontakt:

Zuse-Institut Berlin (ZIB)
E-Mail: deuffhardzib.de

sucht weiter nach den statistischen Mustern von Krankheiten – doch nicht nur in Körperflüssigkeiten wie Blut, Speichel oder Augenwasser, sondern in allen gesundheitsrelevanten Daten. Das können auch Fragebögen sein, wie sie in den letzten drei Jahren mehr als 1000 Eltern vorgelegt bekamen, die ihre Kinder mit Verdacht auf Grippe in die Kinderrettungsstelle der Charité brachten. Mehrere Dutzend Fragen mussten sie beantworten – zur Höhe und Dauer des Fiebers, zur Rötung des Halses, Art des Hustens und vielem mehr. Die Ärzte schickten zugleich von jedem Kind eine Abstrichprobe an das Robert-Koch-Institut, um es auf Grippe-Viren testen zu lassen. Die Frage, die Tim Conrad und seine Projektpartner um Barbara Rath von der Charité interessiert, ist nun: Welche der 100 Faktoren, die der Fragebogen erfasst, unterscheiden am Ende am sichersten zwischen einer echten Grippe und einer normalen Atemwegs-Infektion? „Wenn es uns gelingt, fünf oder zwölf Faktoren zu isolieren, können wir Eltern und Patienten möglicherweise den Gang zum Arzt ersparen – oder zumindest das Warten auf das Laborergebnis“, sagt Tim Conrad. Auch Kosten spart das, denn ein Grippe-test schlägt mit etwa 200 Euro zu Buche. Um aus der Datenflut dieses „Muster“ der Krankheit sicher bestimmen zu können, braucht der Mathematiker eine große Menge an Daten. Je mehr Fälle, desto sicherer ist es, dass ein Ergebnis kein Zufall ist, das ist – etwas verkürzt – eine der Grundfesten der Statistik. Tim Conrad schwebt am Ende eine personalisierte Medizin vor, die aus einer Menge an Datenquellen – Proteom, Genom, Fragebogen – schnellere, bessere und vor allem individuellere Antworten auf Gesundheitsfragen und Behandlungsempfehlungen geben kann. „Wir müssen vom blutigen Fingerabdruck zu einem Fingerabdruck der Krankheit in

allen Daten gelangen“, sagt er. Das mathematische Verfahren dazu nennt sich Netzwerkanalyse, denn aus Sicht der Mathematik kann auch jeder Mensch als Netzwerk aus Daten und Parametern begriffen werden. „Flapsig gesagt wollen wir so herausfinden, ob, wenn links oben etwas kaputt ist, die Ursache nicht auch rechts unten liegen kann“ – das ist so ein typischer Tim-Conrad-Satz. Mit der Komplexität der Mathematik will der Bioinformatiker so der Komplexität des Körpers gerecht werden. Das gelingt nicht mit einem Fachgebiet allein: Der Charme von MATHEON sei es, dass das Forschungszentrum so viel Austausch und Inspiration gewährleiste, sagt Conrad. Wann immer der Bioinformatiker ins Stocken kommt, kann er sich beim Mathematiker Inspiration holen. Oder seine Algorithmen, die zwar funktionieren, in dieser Kooperation so zu optimieren, dass sie schneller und zuverlässiger gerechnet werden.

Brückenschwingungen als Vorlage für die Medizin

So greift Conrad etwa auf Methoden zur Berechnung von Brückenschwingungen zurück, um seine Daten auf Robustheit zu überprüfen. Zunächst sei MATHEON nur ein guter Gedanke und eine tolle Geldquelle gewesen, doch schnell sei es gelungen, einen Teamgedanken zu verbreiten, schwärmt Tim Conrad. „Das gibt es nicht oft in Deutschland, in Forschungsverbänden schaut traditionell erstmal jeder auf seinen Bereich. MATHEON hat es geschafft, dass die Projekte miteinander reden, das führt oft erst zum Heureka-Moment“, sagt er. In Europa gibt es auf dem Gebiet der Mathematik nichts Vergleichbares.

Das bestätigt auch Peter Deuffhard, der, obgleich erfolgsverwöhnt, noch immer fast ein wenig überrascht

Eine Proteom-Analyse kann Lungenkrebs im Frühstadium erkennen. Ein einziger Tropfen Blut genügt.

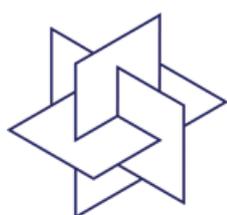


Photocase, exermann

wirkt, dass etwas, das auf seinem Sofa seinen Anfang nahm, so schnell so erfolgreich wurde. „Berlin ist weltweit die Hauptstadt der angewandten Mathematik geworden. Ich bin alt genug, das sagen zu dürfen“, sagt Deuffhard und kokettiert ein wenig mit seiner Ende September anstehenden Emeritierung. „Was wir hier auf die Beine gestellt haben, kann weltweit nur noch vom berühmten Courant-Institut in New York übertroffen werden. In einigen Dingen ist man dort weiter als wir, in anderen weniger gut aufgestellt“, so Deuffhard. Dass das vielen Berlinern gar nicht so bewusst ist, liege auch daran, dass MATHEON „nicht viel Reklame“ mache:

„Unsere Reklame ist unsere wissenschaftliche Wirkung, und die ist weltweit enorm.“ Berlin stehe für moderne, angewandte Mathematik, die einerseits sehr stark in der Theorie und andererseits sehr stark in schwierigen Anwendungen verankert sei. Dafür spreche auch, dass die MATHEON-Forscher rasante Karrieren machten: 80 Rufe an andere Unis haben sie in den letzten Jahren bekommen, 60 Wissenschaftler sind diesen Rufen gefolgt. „Wir pumpen viel Wissen über MATHEON in die deutsche Universitäts- und Industrielandschaft“, so Deuffhard. Zahlreiche Ausgründungen, gerade im Medizinbereich, bringen die Ergebnisse zu den Patienten.

Die Großrechner



DFG Research Center MATHEON
Mathematics for key technologies

Bei MATHEON von Anfang an
dabei: Mathematiker Christof Schütte.



Dass Berlin sich mit dem Titel „Hauptstadt der Mathematik“ schmücken darf, und das auch noch zu Recht, hat es seinen vielen Forschungseinrichtungen zu verdanken. Eine, die besonders viele kluge Köpfe unter ihrem Dach zusammenbringt, ist das DFG-Forschungszentrum für angewandte Mathematik „MATHEON“. Seit zehn Jahren steht das MATHEON nicht nur für geballte Mathematik-Kompetenz, sondern auch für einen Gegenentwurf zum Mathe-Elfenbeinturm.

Eine Formel für Erfolg gibt es nicht. Auch wenn man meinen könnte, dass sie die am MATHEON auch noch entdeckt hätten. Als 2002 Wissenschaftler der Freien Universität Berlin, der Humboldt-Universität, der Technischen Universität, dem Zuse-Institut und dem Weierstraß-Institut gemeinsam die Idee zum Projekt MATHEON aus der Taufe hoben, wählte es die Deutsche Forschungsgemeinschaft aus etwa 80 Projektanträgen aus. Das erklärte gemeinsame Ziel: Ein Exzellenzzentrum, das technologische Innovationen durch Mathematik möglich machen soll. Heute ist das MATHEON deutschlandweit die erste Adresse für Industrie und Medizin, wenn es um maßgeschneiderte mathematische Grundlagenforschung geht. Insgesamt 250 Wissenschaftler arbeiten je nach Projekt in gemeinsamen Teams an der Lösung mathematischer Fragestellungen, die für eine Anwendung in Wirtschaft oder Forschung wichtig ist oder sein könnte.

Das MATHEON ist nach seinen Schwerpunkten in sieben Anwendungsbereiche gegliedert – diese reichen von den Lebenswissen-

schaften über Industrieproduktion bis zu Methoden der Visualisierung. Dabei funktioniert das MATHEON als Plattform für die enge Zusammenarbeit zwischen den mathematischen Disziplinen einerseits und mit den Anwendungsdisziplinen andererseits. Das MATHEON ist ein Kompetenzpool, der engen Kontakt zu Partnern der Industrie und der Wirtschaft hält.

Die konsequente Orientierung der Forschung an der Anwendung rechnete sich: Beliefen sich die industriellen Forschungsmittel anfangs auf etwa jährlich 300.000 Euro liegt er heute, zehn Jahr später, bei über drei Millionen Euro pro Jahr.

Der Erfolg macht das MATHEON auch zu einem idealen Botschafter für Mathematik in Schule und Gesellschaft. „Outreach“ heißt es im Englischen – eine möglichst breite Öffentlichkeit zu erreichen ist auch eines der großen Ziele des Zentrums. So wurde das MATHEON durch seine Projekte zur Lehrerweiterbildung auch zum Wegbereiter des „Deutschen Zentrum für Lehrerbildung Mathematik“ (DZLM), einem Projekt der Deutschen Telekom Stiftung. Auch nach dem Ende der DFG-Förderung 2014 werden dieses und weitere wichtige Elemente des MATHEON erhalten bleiben. Im Rahmen eines neuen Einstein-Zentrums für Mathematik werden unter anderem die Projekte mit Beteiligung der Freien Universität Berlin fortgeführt – etwa zu Medizin, zur Biologie und der Geometrieverarbeitung.





Rechnen hilft

Wie die Mathematik die Medizin voranbringt



VON PHILIPP GRÄTZEL VON GRÄTZ

Wie funktioniert das Leben auf molekularer Ebene? Warum werden Menschen krank, und wie lässt sich das verhindern? Wissenschaftler des DFG-Forschungszentrums MATHEON nutzen hoch komplexe Modelle, um Antworten auf diese Fragen zu finden. Mithilfe von mathematischen Methoden können neue Behandlungsansätze auf molekularer Ebene simuliert und unterschiedliche Therapieschemata verglichen werden. Das ersetzt zwar nicht den klinischen „Praxistest“. Es kann aber zu einem sehr viel rationaleren Vorgehen bei der Etablierung neuer Behandlungskonzepte beitragen.

Virtuelle Modelle erstellen, bestimmte Rahmenbedingungen am Computer simulieren, das Modell optimieren, erneut simulieren: Nach diesem letztlich immer gleichen Schema läuft heute die Entwicklung zahlloser Innovationen in den unterschiedlichsten Bereichen ab. Egal ob der Verbrauch eines Autos verringert, eine Stau-mauer gebaut oder ein neues Flugzeug entworfen werden soll; immer werden mögliche Szenarien mithilfe mathematischer Modelle und unter Berücksichtigung

möglichst vieler relevanter Einflussfaktoren erst einmal durchgerechnet, bevor es fertige Produkte gibt, die sich anfassen lassen. „Trial and error“ wäre in vielen derartigen Entwicklungssituationen viel zu kostspielig, teilweise auch gefährlich.

In der Medizin erinnert die Entwicklung neuer Behandlungsansätze dagegen heute noch immer häufig an „Trial and Error“. Zwar werden Arzneimittel für die Therapieforschung mittlerweile in der Regel auf Basis molekularer Erkenntnisse ausgewählt. Das komplexe Zusammenspiel zwischen unterschiedlichsten molekularen Faktoren wird dabei aber oft nicht ausreichend berücksichtigt. Stattdessen werden relativ rasch Tierversuche oder auch klinischen Studien durchgeführt. Unzählige dieser Studien scheitern, und oft verstehen die Experten erst viel später, warum ein bestimmter Ansatz nicht funktionierte, vielleicht von Anfang an gar nicht funktionieren konnte.

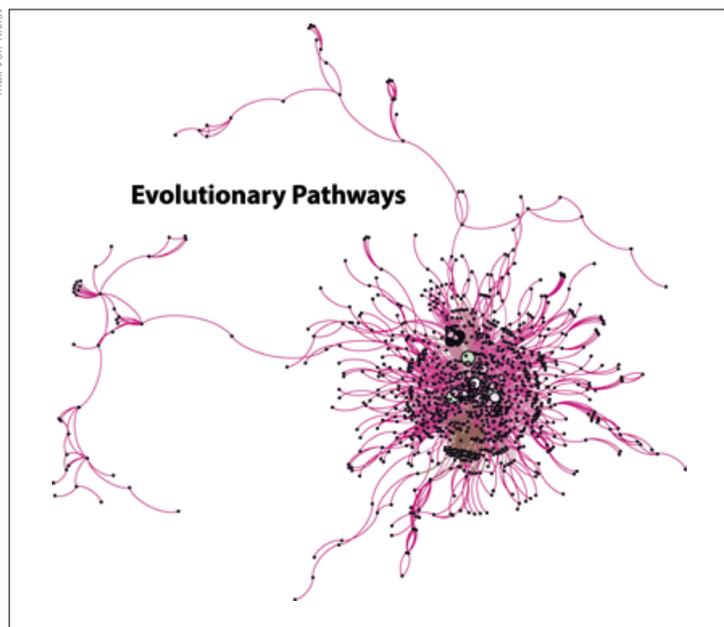
Simulation auf der Ebene von Molekülen

Die Mathematik kann einen Beitrag zur Optimierung der molekularen und der klinischen Forschung leisten, sagt Professor Dr. Christof Schütte, Co-Chair des

Biocomputing hilft dabei, ohne Tierversuche und klinische Studien neue Therapien und Behandlungsansätze zu finden.



istockphoto.com/sidsnapper



Evolutionäre Dynamik des HI-Virus nach Therapiegabe in einem Patienten: Jeder Punkt entspricht einer Virus-Mutante und die Kanten (lila/pink/magenta) zeigen mögliche Übergänge durch Mutation im Genom des HI-Virus als Anpassung an die Therapie. Basierend auf solchen Dynamiken versuchen Forscher wie Max von Kleist, die Therapie zu optimieren und anzupassen.

DFG Forschungszentrums MATHEON und Leiter der Biocomputing Group an der Freien Universität Berlin: „Letztlich versuchen wir, mithilfe des Biocomputings die Erfolgsgeschichte der mathematischen Modellierung in vielen anderen Disziplinen auch im molekularbiologischen beziehungsweise systembiologischen Kontext zu replizieren“, sagt Schütte. Auf Basis möglichst umfangreicher Detailinformationen zu Wirkstoffen, Krankheitserregern oder molekularen Gegebenheiten auf Patientenseite werden von den Biocomputing-Experten anwendungsnahe Modelle erstellt und Algorithmen formuliert. Damit lässt sich in einem zweiten Schritt simulieren, was passiert, wenn beispielsweise in einem Gewebe bestimmte Umgebungsparameter beeinflusst werden, oder wenn bei einem Medikament einfach nur die Behandlungsfrequenz verändert wird.

Wie das konkret aussehen kann, haben Schütte und seine Kollegen in den vergangenen Jahren sehr detailliert am Beispiel der HIV-Infektion vorgemacht. „Diese Erkrankung eignet sich deswegen gut für die mathematische Modellierung, weil über ihre molekularen Details vergleichsweise viel bekannt ist“, sagt Dr. Max von Kleist, Nachwuchsgruppenleiter Biocomputing am MATHEON. HIV lässt sich in den Industrienationen mithilfe aufwendiger Kombinationstherapien und regelmäßiger Resistenzdiagnostik gut in Schach halten. Gelöst ist das globale HIV-Problem dadurch aber noch lange nicht. Zum einen besteht nach wie vor ein

erheblicher Bedarf an Diagnose- und Therapiekonzepten, die auch in armen Ländern mit schlechter Infrastruktur funktionieren. Zum anderen haben weder Entwicklungs- noch Industrieländer bisher das Problem der Virusübertragung zufriedenstellend im Griff, sodass immer wieder neue, auch arzneimittelbasierte Präventionskonzepte diskutiert werden.

Einmalpille für Sex ohne Reue?

Diese arzneimittelbasierte Prävention haben sich von Kleist und seine Kollegen in letzter Zeit etwas genauer angesehen. Ein unter HIV-Experten kontrovers diskutierter Ansatz, um eine Virusübertragung zu verhindern, ist die sogenannte Präexpositionsprophylaxe, kurz PrEP genannt. Dabei werden Menschen, die zwar nicht mit HIV infiziert sind, aber ein hohes Infektionsrisiko aufweisen, mit einem antiretroviralen Medikament behandelt, einem Medikament also, das sonst für die Behandlung von HIV-Infizierten eingesetzt wird. Risikopersonen, die für eine PrEP prinzipiell in Frage kommen, sind beispielsweise die Partner von HIV-infizierten Menschen, aber auch Menschen mit häufigen wechselnden Sexualkontakten in stark HIV-gefährdeten Milieus.

„Mathematisch interessant an dieser Thematik ist die Frage, ob eine solche Prophylaxe bei allem, was wir über das Virus und über die in Frage kommenden Medikamente wissen, überhaupt hinreichend effektiv sein kann“, erklärt von Kleist. Vor allem wollten die Wissenschaftler wissen, wie abhängig die Effektivität einer „PrEP“ vom Einnahme-Intervall der Medikamente ist. Um das zu klären, wurde am Beispiel des in der HIV-Therapie sehr weit verbreiteten Medikaments Tenofovir ein Wahrscheinlichkeitsmodell entwickelt, in das pharmakologische Eigenschaften des Medikaments ebenso einfließen wie Daten zum Virus und zur Virusexposition.

„Tenofovir wird intrazellulär aktiviert. Damit bauen sich die Wirkspiegel relativ langsam auf. Was wir anhand unseres Modells zeigen können ist, dass eine PrEP mit Tenofovir als Monotherapie sehr ineffektiv ist, wenn das Medikament nur bedarfsweise eingenommen wird“, betont von Kleist. Mit anderen Worten: Eine Pille Tenofovir vor der Party am Abend ist aus mathematischer Sicht definitiv keine sinnvolle Präventionsstrategie. Wird das Präparat täglich eingenommen, steigt die Schutzwirkung. „Aber selbst dann wird nur ein Schutz von etwa 80 Prozent erreicht“, sagt von Kleist. Diese Zahl gilt zudem auch nur, wenn die Genitalschleimhaut intakt ist. Liegen noch andere Infektionserkrankungen im Genitalbereich vor, die die Schleimhaut schädigen, ist die Virusexposition bei ungeschütztem Geschlechtsverkehr mit einem HIV-infizierten Menschen wesent-



lich höher. Der Schutz durch die medikamentöse PrEP sinkt.

Wenige Wochen, nachdem die Berliner Mathematiker die Ergebnisse ihrer Berechnungen in der Fachzeitschrift PLoS ONE veröffentlicht hatten, hat die US-amerikanische Zulassungsbehörde FDA im Juli 2012 zum ersten Mal ein HIV-Medikament auf Basis zweier klinischer Studien für die PrEP zugelassen. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus Tenofovir und einer weiteren antiretroviralen Substanz, Emtricitabin. „Prinzipiell könnten wir mit unserem Modell auch die Effektivität dieser Kombination berechnen. Wir sind aber darauf angewiesen, relativ genaue pharmakologische Daten für die Medikamente zu haben, deren Wirkung wir simulieren. Und diese Daten liegen für Emtricitabin leider nicht vor“, so von Kleist.

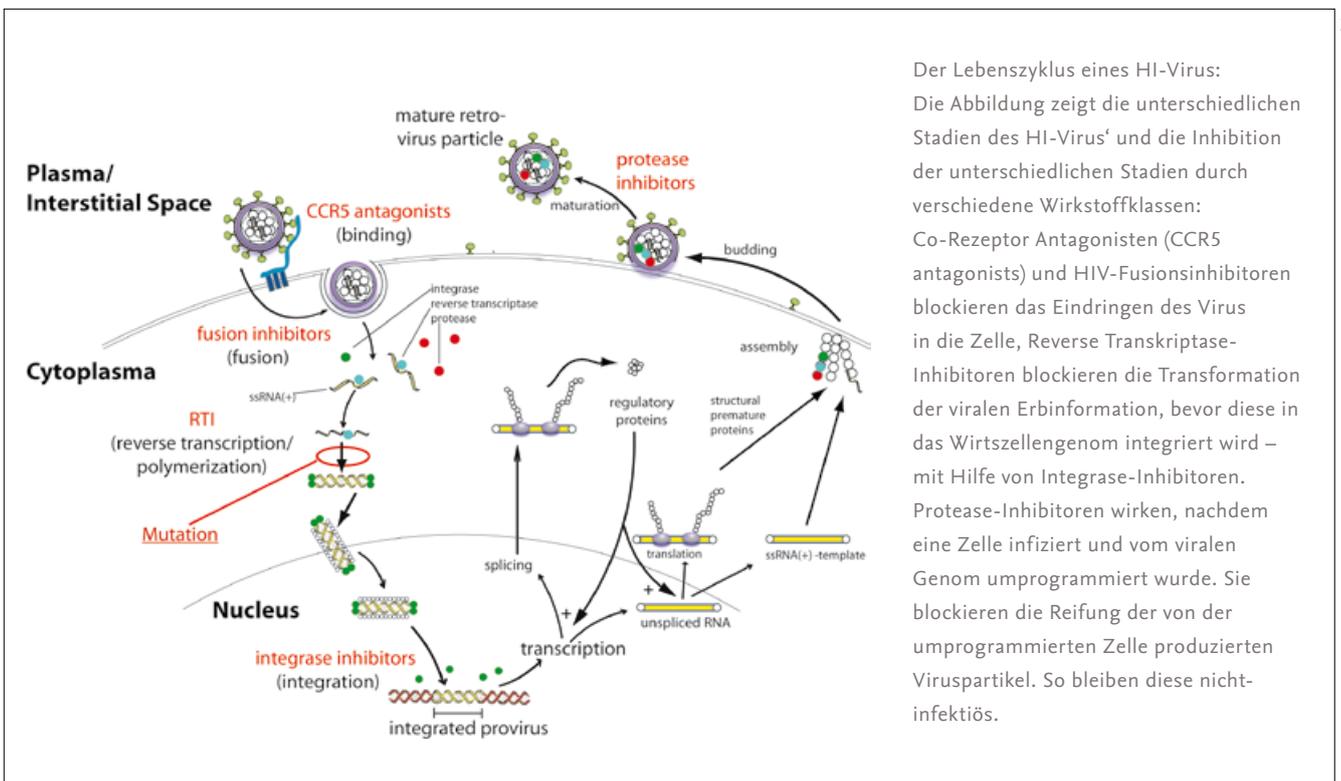
Trotzdem zeigen die Ergebnisse der Zulassungsstudien, dass die Berliner Mathematiker mit ihrem Modell im Prinzip goldrichtig liegen. Denn auch in diesen Studien lässt die Effektivität der PrEP bei einer nur bedarfsmäßigen Einnahme sehr zu wünschen übrig. Und die PrEP-Studien zeigen in Übereinstimmung mit dem Modell der Berliner Mathematiker auch, dass bei täglicher Einnahme von PrEP-Medikamenten ein zwar deutlich höherer, aber kein 100prozentiger Schutz vor der HIV-Übertragung erreicht wird. Mit anderen Worten: Dadurch, dass mathematische Modellierung und klinische Zulassungsstudien bei der HIV-PrEP parallel

liefern, lässt sich jetzt am Beispiel HIV konkret zeigen, dass die mathematische Modellierung eine realistische Einschätzung der klinischen Realität liefert.

Wie lässt sich ein Neugeborenes optimal schützen?

Genau diese Übereinstimmung zwischen klinischer Realität und mathematischem Modell konnte die Arbeitsgruppe um von Kleist auch für ein zweites Szenario demonstrieren, nämlich für die Übertragung von HI-Viren unter der Geburt von einer infizierten Mutter auf das Kind. Für solche Situationen stehen in Industrieländern moderne Kombinationstherapien zur Verfügung, die die HIV-infizierte Mutter ab Mitte der Schwangerschaft einnimmt und die das Kind weitgehend vor einer Übertragung schützen. Das ist in einigen Entwicklungsländern aber zu teuer beziehungsweise trotz oft subventionierter Medikamente aufgrund der vorhandenen Infrastruktur kaum umzusetzen.

Die Berliner Mathematiker haben nun berechnet, dass die kurzfristige Gabe des kostengünstig als Generikum verfügbaren HIV-Medikaments Nevirapin als Monotherapie unmittelbar vor der Geburt im Hinblick auf die Prophylaxe der Übertragung von HI-Viren auf das Kind fast so effektiv sein kann wie die langfristige Kombitherapie. Und genau das wurde mittlerweile in klinischen Studien mit Nevirapin gezeigt. Auch hier



Der Lebenszyklus eines HI-Virus:
Die Abbildung zeigt die unterschiedlichen Stadien des HI-Virus' und die Inhibition der unterschiedlichen Stadien durch verschiedene Wirkstoffklassen: Co-Rezeptor Antagonisten (CCR5 antagonists) und HIV-Fusionsinhibitoren blockieren das Eindringen des Virus in die Zelle, Reverse Transkriptase-Inhibitoren blockieren die Transformation der viralen Erbinformation, bevor diese in das Wirtszellengenom integriert wird – mit Hilfe von Integrase-Inhibitoren. Protease-Inhibitoren wirken, nachdem eine Zelle infiziert und vom viralen Genom umprogrammiert wurde. Sie blockieren die Reifung der von der umprogrammierten Zelle produzierten Viruspartikel. So bleiben diese nicht-infektiös.

Max von Kleist

gilt also: Ein mathematisches Modell sagt das Ergebnis einer klinischen Studie relativ genau vorher.

Alzheimer: Verhindern, dass Eiweiße falsch gefaltet werden

Am Beispiel der HIV-Therapien lässt sich der Nutzen von Modellerzeugung, Simulation und Optimierung besonders gut verdeutlichen. Medizinisch relevante mathematische Modelle können aber auch in viel früheren Stadien der Therapieentwicklung ansetzen, etwa bei der Funktionsweise von Molekülen. So gibt es beispielsweise einige chronische Erkrankungen, bei denen der menschliche Körper bestimmte Eiweißmoleküle falsch

faltet. Diese falsch gefalteten Eiweiße können sich im Gewebe ablagern und dort medizinische Probleme verursachen. Ein Beispiel dafür ist die Alzheimer-Erkrankung. Hier kommt es im Gehirn zu einer Ablagerung von falsch gefaltetem Beta Amyloid. Ein möglicher Therapie- beziehungsweise Präventionsansatz besteht darin, zu verhindern, dass es zu dieser Fehlfaltung des Beta Amyloid kommt. Nur: Wie lässt sich das erreichen? Hier kann erneut die Mathematik mit Biocomputing-Ansätzen helfen. „Die Faltung von Eiweißmolekülen lässt sich mit mathematischen Modellen genauso präzise beschreiben wie die Entstehung von Mutationen in Krankheitserregern oder wie die Vorgänge bei der Übertragung eines gefährlichen Virus“, so Schütte. Am Beispiel Alzheimer würde in ein solches Modell die genaue Struktur der relevanten Eiweiße eingehen. Berücksichtigt werden müssen außerdem diverse Gewebeparameter, die die Rahmenbedingungen beschreiben, unter denen es im Gehirn zur Fehlfaltung kommt. Am Modell können dann diverse Umgebungsparameter modifiziert werden, um zu verstehen, warum genau es zur Fehlfaltung kommt. Im nächsten Schritt kann – immer noch anhand des Modells – versucht werden, die Umgebungsparameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens so zu steuern, dass die Wahrscheinlichkeit einer Fehlfaltung möglichst klein wird. Und das wiederum ist hoch interessant für die Arzneimittelentwicklung, weil es einen Ansatzpunkt für eine sehr viel detailliertere Suche nach potenziellen Wirkstoffen liefert.

Prof. Dr. Christof Schütte



Christof Schütte ist seit 2000 Professor für Numerische Mathematik und Scientific Computing an der Freien Universität. Er ist stellvertretender Sprecher und Vorstandsmitglied des DFG-Forschungszentrums MATHEON und Mitglied im Vorstand der Graduiertenschule „Berlin Mathematical School“.

Außerdem gehört er dem Exzellenzrat der Freien Universität an und engagiert sich in weiteren Graduiertenschulen wie der Helmholtz Graduate School GEOSIM und der International Max-Planck Research School „Computational Biology and Scientific Computing“.

Kontakt:

Frei Universität Berlin, Institut für Mathematik, Biocomputing Group
E-Mail: schuette@mi.fu-berlin.de

Dr. Max von Kleist



Max von Kleist ist Leiter der Nachwuchsgruppe „Computational Pharmacometrics“, die vom DFG-Forschungszentrum MATHEON gefördert wird, und ist in die Biocomputing-Gruppe von Professor Christof Schütte am Fachbereich Mathematik und Informatik der Freien Universität Berlin eingebunden. Max von Kleist forscht unter anderem daran,

wie mit mathematischen Modellen optimale Therapien entwickelt und richtige Dosierungen gefunden werden können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf HIV und anderen Infektionskrankheiten.

Kontakt

Freie Universität Berlin, Institut für Mathematik, Biocomputing Group
E-Mail: vkleist@zedat.fu-berlin.de

Pingpong zwischen den Disziplinen

„Entscheidend für den Erfolg von Biocomputing-Projekten im medizinischen Umfeld ist immer die enge Kooperation mit Biologen und Medizinern“, betont Schütte. Mathematische Modelle liefern nur dann realistische Vorhersagen, wenn sie die biologische Realität möglichst genau abbilden. Dazu gehört, dass zu den untersuchten Krankheitserregern oder Molekülen möglichst viele Detailinformationen vorliegen müssen. „Hier sind wir ganz klar auf die Zuarbeit von Biologen, Pharmakologen und Medizinern angewiesen“, betont Schütte. „Umgekehrt müssen natürlich auch wir Mathematiker ständig bereit sein, unsere Modelle zu optimieren, wenn die Kliniker uns sagen, dass sie aus diesen oder jenen Gründen die Realität nicht adäquat abbilden.“ Gelingt dieses Wechselspiel der Disziplinen, dann können mathematische Modelle in den unterschiedlichsten medizinischen Bereichen dabei helfen, einzuschätzen, welche Therapieansätze erfolgversprechend sind und von welchen man besser die Finger lassen sollte. Das nutzt den Wissenschaftlern und Ärzten, aber auch und vor allem den Patientinnen und Patienten.

$$a = \sqrt{5} = 1,3$$

$$\sqrt{5} = \sqrt{3} + 3$$

Rechenkunst – Das muss Liebe sein

Wie Wissenschaftler der Freien Universität Begeisterung für Mathematik entfachen – nicht nur bei Schülern und Lehrern, sondern in der ganzen Gesellschaft



VON FLORIAN MICHAELIS

So klar, so eindeutig, so vielseitig: Mathematiker geraten ins Schwärmen, wenn sie über ihr Fach sprechen. Warum nur bleibt anderen diese Schönheit oft verborgen? Warum kokettiert manch ein Intellektueller auf der Dinnerparty mit seiner Rechenschwäche, verachtet aber jeden, der Adorno für ein Pasta-Gericht hält? Wissenschaftler der Freien Universität zeigen, wie es anders geht: Sie entwickeln neue Lernkonzepte, bilden Lehrer fort und enthüllen, wo überall sich die Mathematik im Alltag versteckt hält – und welche Probleme sich mit ihrer Hilfe lösen lassen. Selbst bei manch einem Rechen-Muffel wecken sie so Begeisterung.

Lasst uns nicht lamentieren über das ach so dröge Fach, an dem Schülerkohorten verzweifeln. Lasst uns keine Klischees aufwärmen von Nerds, die zwar die binomischen Formeln beherrschen und die Differentialrechnung, denen Mama aber bis zum Abitur etwas zum Anziehen rauslegen muss. Sondern lasst uns schwärmen von Eindeutigkeit, von Kreativität, ja von Schönheit; von Meisterleistungen des menschlichen Geistes. Lasst uns die Entdeckung der Null feiern wie die Entdeckung Amerikas. Lasst uns die einzig universelle Sprache bewundern, die es Menschen erlaubt, sogar mit Maschinen zu kommunizieren – und Maschinen untereinander. Die uns die

Komplexität des Universums abbilden hilft. Lasst uns eine Wissenschaft preisen, die zugleich Kunst ist.

Lasst uns die Mathematik lieben lernen. So ließe sich die Mission des Mannes zusammenfassen, der Sätze sagt wie: „Wer sich verteidigt, ist ein Loser.“ Er heißt Günter M. Ziegler, ist Professor an der Freien Universität und zählt zu den bekanntesten Mathematikern Deutschlands. Er versteht sich als Botschafter eines selbstbewussten Fachs, das sich zu verstecken überhaupt keinen Grund hat, geschweige denn sich zu verteidigen. Er hält nichts von dem Ansatz: „Mathe hat euch in der Schule keinen Spaß gemacht, aber ich zeig euch jetzt mal, dass es doch irgendwie ganz schön sein kann.“ Aktiv herzeigen, so nennt er es, wenn er in Vorträgen, Interviews oder im Fernsehen aus unerwarteter Perspektive auf die Mathematik blickt – wenn er etwa anhand eines archäologischen Knochenfundes und dem Science-Fiction-Klassiker „2001: Odyssee im Weltraum“ die Faszination von Primzahlen erläutert. Dann erzählt er von einem Tierknochen, der über 20.000 Jahre alt ist und in den fünfziger Jahren am Ishango-See im Kongo gefunden wurde. Einkerbungen überziehen fast die gesamte Oberfläche des Artefaktes: Sie lassen sich als die Zahlen 11, 13, 17 und 19 interpretieren – alles Primzahlen. Ziegler stellt sich vor, dass es dieser Knochen ist, den der Frühmensch in der Eröffnungsszene von „2001“ Richtung Himmel schleudert – kurz vor dem

Nicht gut in Mathe? Damit kokettierte auch der ehemalige Bundeskanzler Gerhard Schröder.



Schnitt zum Raumtransporter. Es ist einer der berühmtesten Schnitte der Filmgeschichte, über Jahrtausende der Menschheitsgeschichte hinweg, von der Steinzeit in die futuristische Welt der Raumfahrt.

Ohne Mathematik kaum Fortschritte

Mathematik, so lautet Zieglers Botschaft, verbindet als Kulturgut und als Wissenschaft die Anfänge des menschlichen Denkens mit der modernen Technik, die uns den Weg in die Zukunft weist. Sie ist viel mehr als bloßes Rechnen; ohne sie wären die meisten Fortschritte in Wissenschaft und Wirtschaft undenkbar. Ziegler sagt es gerne so: „Mathe ist wie ein Diamant – richtig hart, wunderschön und industriell wertvoll.“

Allerdings bleiben Schönheit und Glanz des Diamanten vielen verborgen. Nach wie vor ist es gesellschaftlich akzeptiert, sich als Mathe-Null auszugeben.

„In Mathe war ich unterdurchschnittlich“, kokettierte der frühere Bundeskanzler Gerhard Schröder, jedenfalls wird ihm das Zitat zugeschrieben, wie das Magazin der „Süddeutschen Zeitung“ berichtet. Ähnliches lassen selbst Bildungspolitiker manchmal verlauten, in der Hoffnung, volksnah zu wirken und nicht wie Streber.

Im Bestseller „Bildung – Alles was man wissen muss“ erklärte Autor und Anglistikprofessor Dietrich Schwandt bereits vor Jahren die sozialen Regeln des Bildungsspiels, wie er es nennt. Demnach ist es vollkommen in Ordnung, bei einer Dinnerparty zuzugeben, dass man den thermodynamischen Hauptsatz noch nie verstan-

Mathematik-Ausgründung

Mit edukativem Spielzeug, Filmen und Büchern will „vismath“ eine Ausgründung der Freien Universität, Interesse an Mathematik wecken

Bisweilen soll es ja Kinder geben, die sich freiwillig mit Platonischen Körpern, diskreten Minimalflächen, oder Archimedische Körpern beschäftigen. Wenn es davon mittlerweile immer mehr gibt, dann hat das weniger mit einem Trend zur Hochbegabung zu tun, als mit einer pädagogisch wertvollen Geschäftsidee.

Mathematik neu erleben – das ist das Motto von vismath. Gegründet haben das Start-Up die Mathematiker Tobias Pfeiffer und Anne Kahnt sowie der Betriebswirtschaftler Simon Krohn. Das ehrgeizige Ziel des jungen Unternehmens: Kinder, aber auch Erwachsene, so an Mathematik heranzuführen, dass sie begeistert, statt zu frustrieren.

Gemeinsam mit dem Mathematik-Professor Konrad Polthier von der Freien Universität Berlin entwickelte das vismath-Team zum Beispiel Bastelbögen, mit denen man verschiedene geometrische Formen nachbauen kann. Denn, so die Überlegung: Wer schon einmal selber einen Tetraeder gebaut hat, dem fällt es leichter, diese Form im wahrsten Sinne des Wortes „zu begreifen“.

Die bunten 3D-Bastelbögen sollen Kindern und Erwachsenen so die räumliche Mathematik näherbringen. Mathematik zum Selbermachen ist auch die Idee hinter der gesamten Produktpalette – etwa IcoSoku, einem 3D-Zahlenrätsel. Oder dem Zometool – ein Steckspiel, mit dem unter anderem die Struktur von Kristallen nachempfunden werden kann. Ein Mathematik-Baukasten, den nicht nur Eltern, sondern auch Kinder und sogar Nobelpreisträger gut finden.

Dass unterhaltsame Wissensvermittlung eine Marktlücke sein könnte, kam den Gründern im Wissenschaftsjahr der Mathematik 2008. Ein eigens organisiertes MathFilm Festival der Arbeitsgruppe „Mathematische Geometrieverarbeitung“ von Konrad Polthier zeigte



damals verschiedene Filme mit Mathematik hintergrund – und wurde zu einem großen Publikumserfolg. Die Arbeitsgruppe wollte danach Filme, Bücher und andere Inhalte zum Thema Mathematik auf einer Online-Plattform als eigenes Angebot bündeln.

2010 erhielt vismath ein EXIST-Gründerstipendium des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie und konnte im März 2010 die vismath GmbH gründen. Inzwischen hat vismath.de über 30 Film- und zahlreiche Buchtitel und mehr als vier Dutzend andere edukative Spielzeuge im Sortiment.

Das Team von vismath (v.l.n.r.):

Anne Kahnt, Tobias Pfeiffer, Simon Krohn



den habe – nicht aber, nach diesem gewissen Vincent van Gogh zu fragen. Etwa kein holländischer Fußballspieler? „So bedauerlich es manchem erscheinen mag: Naturwissenschaftliche Kenntnisse müssen zwar nicht versteckt werden, aber zur Bildung gehören sie nicht“, schreibt Schwanitz.

Merkwürdige Vorurteile gegenüber Mathe

Auch wenn er es nicht explizit formuliert, klingt dabei mit: Die Mathematik trifft dasselbe Schicksal. Mitunter prahlen selbst Intellektuelle geradezu mit ihrer Rechenschwäche, während sie jeden verachten, der Adorno für ein italienisches Pasta-Gericht hält. Das SZ-Magazin nennt es „pubertäres Verhalten“ und wettet in einem „Plädoyer für eine verfeimte Wissenschaft“: Es handle sich um nichts anderes „als eine Form des Analphabetismus, wenn ein großer Teil der Gesellschaft von den Errungenschaften einer Wissenschaft profitiert, ohne auch nur zu ahnen, was sich dahinter verbirgt.“ Ein merkwürdiges Vorurteil gegenüber der Mathematik verbindet Elite und breite Masse, eine Lust am Nichtwissen, am Herabsetzen. „Ein allgemeiner Konsens hat sich herausgebildet, der stillschweigend, aber massiv die Haltung zur Mathematik bestimmt“, warnt Hans Magnus Enzensberger. „Daß ihr Ausschluß aus der Sphäre der Kultur einer Art von intellektueller Kastration gleichkommt, scheint niemanden zu stören.“

Nun wäre Günter M. Ziegler nicht so erfolgreich als Botschafter seines Faches, wenn er sich davon beeindruckt oder gar einschüchtern lassen würde. Er und seine Kollegen entwickeln neue Konzepte, um bereits in der Schule den Blick auf die Mathematik zu weiten.

U-Bahn fahren ist Mathematik

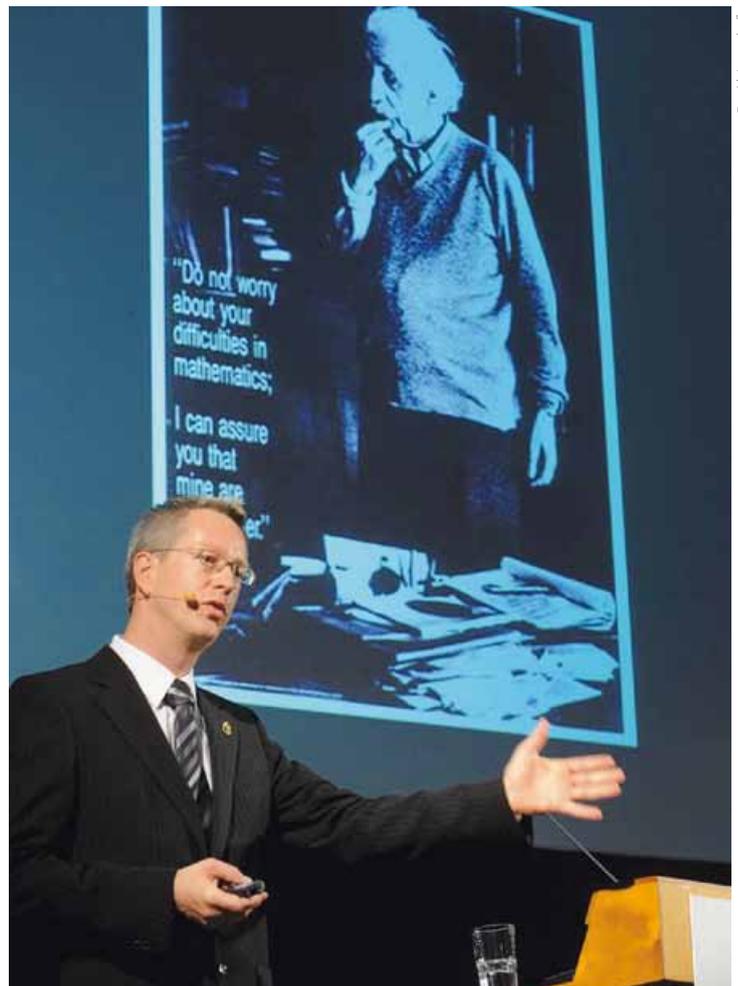
„Wir wollen Schüler auf eine Entdeckungsreise schicken“, sagt er, „nur leider haben auch viele Mathelehrer aus den Wunderwelten der Mathematik nur schmale Ausschnitte kennengelernt.“

Genau an diesem Punkt setzt eine seiner Kolleginnen an: Brigitte Lutz-Westphal, Professorin für Didaktik der Mathematik an der Freien Universität. Sie studierte Musik und Mathematik, wurde Gymnasiallehrerin, entschied sich dann aber doch für eine Karriere in der Wissenschaft. Jetzt arbeitet sie von der Universität aus daran, den Mathe-Unterricht an den Schulen zu verbessern – und das heißt: ihn vor allem anschaulicher machen.

„Wir wollen den Schülern zeigen, wo überall Mathe stattfindet, ohne dass man es erwartet“, sagt Lutz-Westphal. Zum Beispiel im Alltag fast jedes Berliner Schülers: Auf einem Bus- und U-Bahn-Fahrplan den kürzesten oder schnellsten Schulweg zu ermitteln, das sei

klassische Entscheidungsmathematik. Eine ein- bis zweiwöchige Unterrichtseinheit zur Wege-Optimierung lasse sich auf dieser Basis gestalten. Der didaktische Ansatz dahinter: konkret anfangen, eine Verbindung zur Lebenswelt der Schüler schaffen, dann immer abstrakter werden, bis sich ein Modell auch auf andere Situationen übertragen lässt. „Dafür braucht man zunächst keine Formeln“, sagt die Wissenschaftlerin, „viele lässt sich bildlich darstellen, zum Beispiel als Graph.“ Allerdings bedeute Modellierung im Unterricht auch, dass die Schüler viel mehr selbst ausprobieren dürfen – was

Für die herausragende Vermittlung seines Faches erhielt Günter M. Ziegler 2008 den Communicator-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft.



David Ausserhöfer

wiederum die Arbeit der Lehrer verändere. Denn sobald es nicht nur einen richtigen Lösungsweg gibt, muss der Pädagoge flexibel auf die Vorschläge der Kinder reagieren können; das erfordert einen souveränen Umgang mit dem Fachwissen.

Der Lehrer muss sich mehr als Moderator begreifen, weniger als Richter über Richtig und Falsch. Natürlich sei der Ansatz keine Allheil-Methode, sagt Lutz-Westphal: „Wir haben nicht für alle Probleme eine Lösung, aber wir versuchen, dort aktiv zu sein, wo wir etwas bewegen können.“

Dass viel schief läuft im Mathe-Unterricht, und das seit Jahren, zeigen unter anderem die Untersuchungen zur sogenannten Kapitänsaufgabe. Schon zu Beginn der achtziger Jahre stellten französische Wissenschaftler einigen Dutzend Grundschulern folgende Aufgabe: Auf einem Schiff sind 10 Ziegen und 26 Schafe, wie alt ist der Kapitän? Ein Großteil der Schüler rechnete fleißig, aber ziemlich stumpf: $26 + 10 = 36$. Ähnliche Versuche in den vergangenen Jahrzehnten führten zu ähnlichen Ergebnissen, auch für deutsche Schüler – es wird einfach drauflos addiert. Viele Schüler scheinen aus dem

Prof. Dr. Günter M. Ziegler



Günter M. Ziegler ist seit 2011 als Professor an der Freien Universität Berlin aktiv: Er lehrt und forscht in Geometrie, Kombinatorik und Topologie, ausgezeichnet unter anderem mit einem Leibniz-Preis. Er schreibt Bücher, zuletzt „Darf ich Zahlen? Geschichten aus der Mathematik“. Der Mitinitiator des Jahrs der Mathematik 2008 leitet für die Deutsche Mathematiker-Vereinigung das Medienbüro Mathematik und das Netzwerkbüro Schule - Hochschule. Er vertritt die Freie Universität im Vorstand des neugegründeten Deutschen Zentrums für Lehrerbildung Mathematik.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Mathematik
E-Mail: ziegler@math.fu-berlin.de

Prof. Dr. Brigitte Lutz-Westphal



Brigitte Lutz-Westphal ist seit 2009 Professorin für Mathematikdidaktik an der Freien Universität. Sie studierte Musik sowie Mathematik und promovierte zu Inhalten und Methoden für einen authentischen Mathematikunterricht. Heute forscht sie nicht nur zur modernen Anwendung der Mathematik im Schulunterricht, sondern auch zum praxisbezogenen Lehramtsstudium Mathematik. Darüber hinaus leitet sie das Projekt „Industry-driven applications of mathematics in the classroom“ des Forschungszentrums MATHEON.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Didaktik der Mathematik
E-Mail: brigitte.lutz-westphal@math.fu-berlin.de

Die Mathematik-Didaktikerin Brigitte Lutz-Westphal arbeitet daran, den Mathematikunterricht für Lehrer und Schüler pädagogisch sinnvoller zu gestalten.





dpa picture alliance

Mathematik in Serie: Die erfolgreiche US-amerikanische Sitcom „The Big Bang Theory“ spielt mit den Klischees des Nerds.

Mathe-Unterricht vor allem die Lektion mitzunehmen, dass man Zahlen in eine Formel einsetzen muss. Besonders frappierend: „Je länger Kinder die Schule besuchen, desto schlimmer wird es“, sagt Lutz-Westphal. „Wir versuchen, gegen solche Reflexe anzugehen. Wir wollen zeigen, dass man in der Mathematik auch denken darf.“

Wie also umsteuern? Lutz-Westphal und ihr Kollege Ziegler sowie einige andere Wissenschaftler der Freien Universität setzen an bei der Aus- und Weiterbildung von Lehrern. Lutz-Westphal etwa leitet einen berufs begleitenden Studiengang für fachfremde Lehrer, die sich zum Mathe-Lehrer weiterbilden lassen wollen: Sie werden für einen Tag pro Woche freigestellt und kommen für die Kurse auf den Campus. „Hier probieren wir neue Ausbildungskonzepte aus“, sagt die Didaktikerin.

Das Mathestudium reformieren und modernisieren

Besonders stolz sind Ziegler und Lutz-Westphal auf zwei Projekte, die die Deutsche Telekom Stiftung finanziert: das neu gegründete Deutsche Zentrum für Lehrerbildung Mathematik (DZLM) und das Projekt „MINT-Lehrerbildung neu denken“. Das DZLM ist deutschlandweit auf dem Gebiet der Lehrerfortbildung aktiv und erarbeitet Konzepte für die Weiterbildung von Fortbildnern. Das MINT-Lehrerbildungsprojekt ist an den MINT-Fachdidaktiken der Freien Universität angesiedelt. Das Teilprojekt von Lutz-Westphal beschäftigt sich damit, das Mathematikstudium für Lehramtsstudierende zu reformieren und modernisieren.

Angehende Lehrer sollen einen Blick für die Vielfalt und die Schönheit der Mathematik bekommen – ihr „fachliches Selbstbewusstsein“ soll gestärkt werden. Denn, so sagt es Ziegler: „Auch viele Lehrer kennen leider nur eine ziemlich eindimensionale Perspektive auf ihr Fach.“ Aber wer Schüler begeistern will, so Lutz-Westphal, muss ihre Ideen antizipieren und sich „fachlich frei bewegen können“.

Allerdings geht es nur langsam voran. Bis sich die Veränderungen der Lehrerausbildung in den Leistungstests von Schülern widerspiegeln, vergehen Jahre. Dazu kommt ein „neuralgischer Punkt“, wie es Lutz-Westphal nennt: der Übergang in die Praxis. Wer gut ausgebildet mit neuen Ideen von der Uni an die Schule komme, dem passiere es schon Mal, dass Lehrer-Kollegen über neue Methoden abfällig redeten. Auch zehn Jahre nach dem Pisa-Schock schwört manch ein Traditionalist im Klassenzimmer auf althergebrachte Methoden. Da müssen Junglehrer schon sehr gut ausgebildet und fachlich selbstbewusst sein.

Auch wenn es langsam vorangeht, es tut sich etwas, nicht nur an den Schulen, sondern in der ganzen Gesellschaft. Mittlerweile regiert eine Bundeskanzlerin, die als Jugendliche selbst an Mathe-Olympiaden teilnahm.

Die Zeitungen sind voll mit Sudoku-Seiten. Fernsehserien und Kinofilme machen Mathematiker, Programmierer und Naturwissenschaftler zu Helden – zum Beispiel in „A Beautiful Mind“ und der Sitcom „The Big Bang Theory“. Bücher über Mathematik werden zu Bestsellern, Ziegler hat auch selbst eines geschrie-

Fachlektüre fürs Studium



Grundwissen Mathematikstudium Analysis und Lineare Algebra mit Querverbindungen

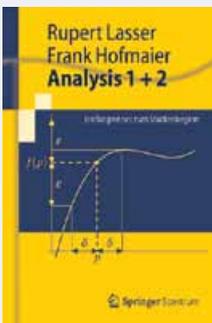
Tilo Arens, Rolf Busam, Frank Hettlich,
Christian Karpfinger, Hellmuth Stachel

Dieses vierfarbige Lehrbuch wendet sich an Studierende der Mathematik in Bachelor- und Lehramts-Studiengängen. Es bietet in einem Band ein lebendiges Bild der mathematischen Inhalte, die üblicherweise im ersten Studienjahr behandelt werden (und etliches mehr). Mathematik-Studierende finden wichtige Begriffe, Sätze und Beweise ausführ-

lich und mit vielen Beispielen erklärt und werden an grundlegende Konzepte und Methoden herangeführt. Im Mittelpunkt stehen das Verständnis der mathematischen Zusammenhänge und des Aufbaus der Theorie.

2013. XII, 1108 S. mit 648 Abb. u. 52 Tab. Geb.
ISBN 978-3-8274-2308-5

► € (D) 59,95 Erscheinungstermin: 22. November 2012



Analysis 1 + 2

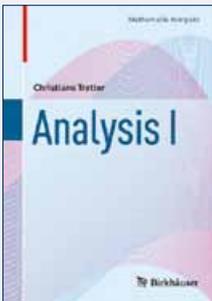
Rupert Lasser, Frank Hofmaier

Dieses Buch ist entstanden aus Vorlesungen an der Technischen Universität München und behandelt im Wesentlichen die Themen, die üblicherweise Gegenstand der Vorlesungen „Analysis“ der ersten beiden Semester im Bachelor-Studium der Mathematik und Physik sind. Dazu zählen neben den grundlegenden Bausteinen der eindimensionalen Analysis, wie Konvergenz, Stetigkeit, Differentiation, Integration,

auch eine Einführung in die Differenzierbarkeit im Mehrdimensionalen, der Begriff der Konvergenz in metrischen Räumen sowie elementare Lösungsmethoden von gewöhnlichen Differentialgleichungen.

2012. IX, 256 S. mit 36 Abb. (Springer-Lehrbuch) Br.
ISBN 978-3-642-28643-8

► € (D) 24,95



Analysis 1

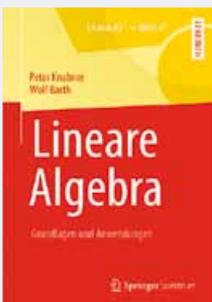
Christiane Tretter

Dieses kompakte Lehrbuch ist der erste von zwei einführenden Bänden in die Analysis. Es zeichnet sich dadurch aus, dass es alle klassischen Themen der Analysis im ersten Semester genau im Umfang einer vierstündigen Vorlesung präsentiert und gleichzeitig auf typische Anfängerschwierigkeiten eingeht. Dazu gehören eine Einführung in die formale Sprache der Mathematik und in die wichtigsten mathematischen Beweistechniken, ebenso wie vorlesungserprobte

plakative Erläuterungen von anfangs ungewohnten abstrakten Begriffen. Alle prüfungsrelevanten Inhalte, von Folgen und Reihen über die Differential- und Integralrechnung von Funktionen einer reellen Variablen bis zum Satz von Taylor, werden abgedeckt und mit Beispielen, Gegenbeispielen und Übungsaufgaben illustriert.

2012, 2013, ca. 150 S. Br. (Ein Birkhäuser Basel Produkt)
ISBN 978-3-0348-0348-9

► € (D) 18,90 Erscheinungstermin: 15. Oktober 2012



Lineare Algebra

Peter Knabner, Wolf Barth

Ziel der Linearen Algebra ist die Einübung in die Theorie und Anwendung linearer Strukturen. Der heutigen Bedeutung der Linearen Algebra als grundlegendes Werkzeug und Sprache für fast alle Teile der Mathematik entsprechend wurden die Inhalte bewußt breit gefasst und vernetzt: Aspekte der affinen Geometrie (Lehramt), unendlich-dimensionale Vektorräume, Spektralanalyse und lineare Differenti-

algleichungen (Physik), allgemeine K -Vektorräume sowie algebraische Strukturen, die Anfänge der linearen und quadratischen Optimierung (Wirtschaftsmathematik) und die LR-Zerlegung, Pseudoinverse und Singulärwertzerlegung.

2013, 2013, XV, 982 S. 50 Abb. Geb.
ISBN 978-3-642-32185-6

► € (D) 49,95 Erscheinungstermin: 30. Oktober 2012

Einfach bestellen:

SpringerDE-service@springer.com Telefax +49(0)6221/345 – 4229

ben. „Darf ich Zahlen?“ heißt es und darin erzählt er Geschichten aus der Mathematik, wie er sie seinen Freunden erklären würde. Das „Jahr der Mathematik“ 2008 hat er mitorganisiert, das dem Fach viel Aufmerksamkeit bescherte. „Wir haben eigentlich keinen Grund zu jammern“, sagt er.

Es geht den Botschaftern ihres Faches nicht darum, Mathematik als leicht darzustellen. Natürlich ist sie

komplex – das macht ja gerade ihren Reiz aus. „Wer höhere Mathematik betreiben will, muss es lieben, sich durchzubeißen“, sagt Lutz-Westphal. Und Ziegler sprach in einem Vortrag mal darüber, dass Journalisten ihn immer wieder fragen: Können Sie in zwei Sätzen erklären, was Sie eigentlich tun? „Kann ich nicht“, sagte Ziegler selbstbewusst. Denn wenn es ginge, wäre die „Mathematik nur halb so spannend.“ Das muss Liebe sein.

Hochleistungsrechner

**Internationale Zusammenarbeit über universitäre Grenzen hinweg:
159 Studierende lernen und forschen an der Berlin Mathematical School**

Berlin ist eine Metropole der Mathematik mit langer Tradition: Hier gründete Gottfried Wilhelm Leibniz, der Erfinder des dualen Zahlensystems, die Preußische Akademie der Wissenschaften, hier baute Konrad Zuse den ersten Computer. Heute zählt Berlin zur Weltspitze in der Mathematik – und bildet den exzellenten Nachwuchs von morgen aus. An der Berlin Mathematical School, einer gemeinsamen Graduiertenschule von Freier Universität, Humboldt-Universität und Technischer Universität, promovieren die besten Nachwuchswissenschaftler aus aller Welt.

Nein, er findet das alles nicht besonders anstrengend und abstrakt; all die Zahlen, Formeln, Funktionen, Grafiken. Mathematik bedeute Freiheit, findet er: „Ich muss keine tausend Seiten auswendig lernen, sondern nur den Grundgedanken verstehen“, sagt Faniry Razafindrazaka. 23 ist er heute und schon in der Schule hat er Mathe geliebt, bekam Bestnoten, damals in Madagaskar. Einige Lehrer rieten ihm: Mach etwas aus deinem Talent, studiere! Er hörte auf sie und schrieb sich ein.

Wenige Jahre später führte ihn seine Liebe zur Mathematik nach Berlin. Auf einem Plakat hatte er gelesen, dass sie dort exzellente Mathe-Studentinnen und -Studenten suchen. Also bewarb er sich, wurde zum Vorstellungsgespräch eingeladen – und aufgenommen. Jetzt ist Faniry einer von rund 160 Studierenden der Berlin Mathematical School, kurz BMS. Junge Mathematikerinnen und Mathematiker bekommen hier die Chance, auf hohem Niveau schnell zur Promotion zu gelangen.

Es verrät etwas über die Berliner Mathematik-Landschaft, zu der die BMS gehört, dass „Hochleistungsrechner“ hier studieren und forschen wollen. Auch wenn die Mathematik eine „stille Wissenschaft“ ist, wie Günter M. Ziegler sagt, Professor an der Freien Universität und Vorstandsmitglied an der BMS, so genießen die hiesigen Institute in Fachkreisen weltweit einen sehr guten Ruf. Erarbeitet haben sie sich den durch ihre konsequente Kooperation, die so gut wie jeder Berliner Mathematiker von Rang lobt. An der BMS gelang es, alle Kurse aufeinander abzustimmen. Die Studierenden



belegen ihre Seminare je nach Wochentag an verschiedenen Hochschulen und nutzen so die Vorteile jeder Einrichtung. Und an Freitag-Nachmittagen kommen junge und erfahrene Mathematiker in das Tagungszentrum Urania, um sich Vorträge anzuhören, gemeinsam zu diskutieren – und auch, um zu feiern. Die „BMS Fridays“ sind längst zur Institution geworden.

„Wir haben erreicht, was wir uns vorgenommen haben“, sagt Konrad Polthier, Mathematik-Professor wie Ziegler und stellvertretender Vorsitzender der BMS. Das anspruchsvolle Auswahlverfahren garantiere, dass nur die Besten kämen. Jeder Kurs wird auf Englisch angeboten, sodass es für Studierende aus anderen Ländern keine Sprachbarriere gibt. Zudem ermöglicht eine Besonderheit des Programms auch jungen Mathematikern an die BMS zu kommen, wenn sie noch kein Diplom oder keinen Master haben: Wer direkt nach dem Bachelor in Berlin anfängt, beginnt als sogenannter Phase-I-Student. In drei bis vier Semestern wird er dann auf Diplom-Niveau ausgebildet, muss aber keine Diplomarbeit mehr schreiben. Es reicht ein „qualifying exam“, wie es an der BMS genannt wird.

Faniry aus Madagaskar wird noch länger in Berlin studieren. Er arbeitet daran, komplexe Formeln anschaulich zu machen – und dafür ist er jetzt am richtigen Platz: in der Arbeitsgruppe von Konrad Polthier.



Wir freuen uns auf Sie

Ernst Reuter (1889–1953) hatte als Oberbürgermeister von Berlin (ab 1950 Regierender Bürgermeister) entscheidenden Anteil an der Gründung der Freien Universität Berlin, die am 4. Dezember 1948 im Titania-Palast in Steglitz gefeiert wurde. Immer wieder regte er an, einen Förderverein ins Leben zu rufen. Sein Wunsch wurde nach seinem Tod als Vermächtnis verstanden und am 27. Januar 1954 in die Tat umgesetzt. In der Ernst-Reuter-Gesellschaft (ERG) treffen sich seit über 50 Jahren Studierende, Absolventen, Freunde, Förderer und ehemalige Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. Sie sind herzlich eingeladen, sich über die Arbeit des Fördervereins zu informieren.

Im Rahmen Ihrer Mitgliedschaft in der ERG erhalten Sie

1. Einladungen zu Veranstaltungen der ERG und der FU
2. Zedat-Account mit E-Mail-Adresse
3. Ermäßigungen für Veranstaltungen
4. Ermäßigung für die GasthörerCard
5. Mitarbeitertarif beim Hochschulsport
6. Ermäßigung für Weiterbildungsangebote
7. Mitarbeitertarif in der Mensa
8. Versand des Alumni-Magazins wir (für Vollzahler)
9. Auf Wunsch Zusendung des Wissenschaftsmagazins fundiert und der Tagesspiegelbeilage (für Vollzahler)
10. Ermäßigung für die Jahreskarte des Botanischen Gartens
11. Ermäßigung für das Berliner Kabarett Theater *Die Wühlmäuse*

Stand: September 2012

Die ERG widmet sich verstärkt der Kontaktpflege zu den Ehemaligen der Freien Universität Berlin. Als Mitglied können Sie über Fachgrenzen und Studienzzeit hinaus an Leben, Arbeit und Entwicklung der Freien Universität teilnehmen. Die ERG ist als gemeinnütziger Verein anerkannt. Spenden und Mitgliedsbeiträge sind steuerlich absetzbar.

Mitgliedsbeiträge und Spenden:

Berliner Sparkasse, BLZ 100 500 00 · Kto. 101 00 101 11

Ernst-Reuter-Stiftung der Freien Universität Berlin:

Berliner Sparkasse, BLZ 100 500 00 · Kto. 600 00 535 07

Unsere Aktivitäten

- ▶ Verleihung der Ernst-Reuter-Preise
- ▶ Verleihung der Ernst-Reuter-Stipendien
- ▶ Unterstützung der Jubiläumsfeiern Silberne und Goldene Promotion
- ▶ Reuterianer-Forum
- ▶ Druckkostenzuschüsse zu Dissertationen
- ▶ Drittmittelverwaltung zweckgebundener Zuwendungen
- ▶ Gesellschafter der ERG Universitätsservice GmbH
- ▶ Gründer der Ernst-Reuter-Stiftung
- ▶ Herstellung von Kontakten zu Absolventen mit dem Ziel der Netzwerkbildung
- ▶ Verwaltungsdienstleistungen für Kapitel (Vereine im Verein)

www.fu-berlin.de/alumni/erg

ANTRAG AUF MITGLIEDSCHAFT

Ich möchte der Ernst-Reuter-Gesellschaft der Freunde, Förderer & Ehemaligen der Freien Universität Berlin e. V. beitreten (bitte ankreuzen):

Mitgliedschaft/normal
(Mindestbeitrag 50,00 €/Jahr)

Mitgliedschaft/ermäßigt
(Mindestbeitrag 10,00 €/Jahr für Studierende und Ehemalige einschließlich der ersten drei Jahre nach Exmatrikulation, bitte Nachweis beilegen)

Institution/Firma
(Mindestbeitrag 150,00 €/Jahr)

Fördermitgliedschaft
Ich bin bereit, statt des Mindestbeitrags von 50,00 € eine jährliche Spende von _____ zu zahlen.

Ich möchte dem Kapitel _____ zugeordnet werden (optional)

KONTAKT:
Ernst-Reuter-Gesellschaft
der Freunde, Förderer & Ehemaligen
der Freien Universität Berlin e. V.
Kaiserswerther Str. 16 – 18
14195 Berlin

Telefon: 030 – 838 53077
Fax: 030 – 838 73442
E-Mail: erg@fu-berlin.de

Hiermit beantrage ich die Mitgliedschaft in der Ernst-Reuter-Gesellschaft

Vorname _____ Name _____ E-Mail _____

Geburtsdatum _____ Akad. Grad/Titel/Funktion _____ Beruf/Position _____

Straße _____ PLZ, Ort _____ Telefon/Fax _____

Ich habe an der FU studiert von – bis _____

Ich war an der FU tätig von – bis _____

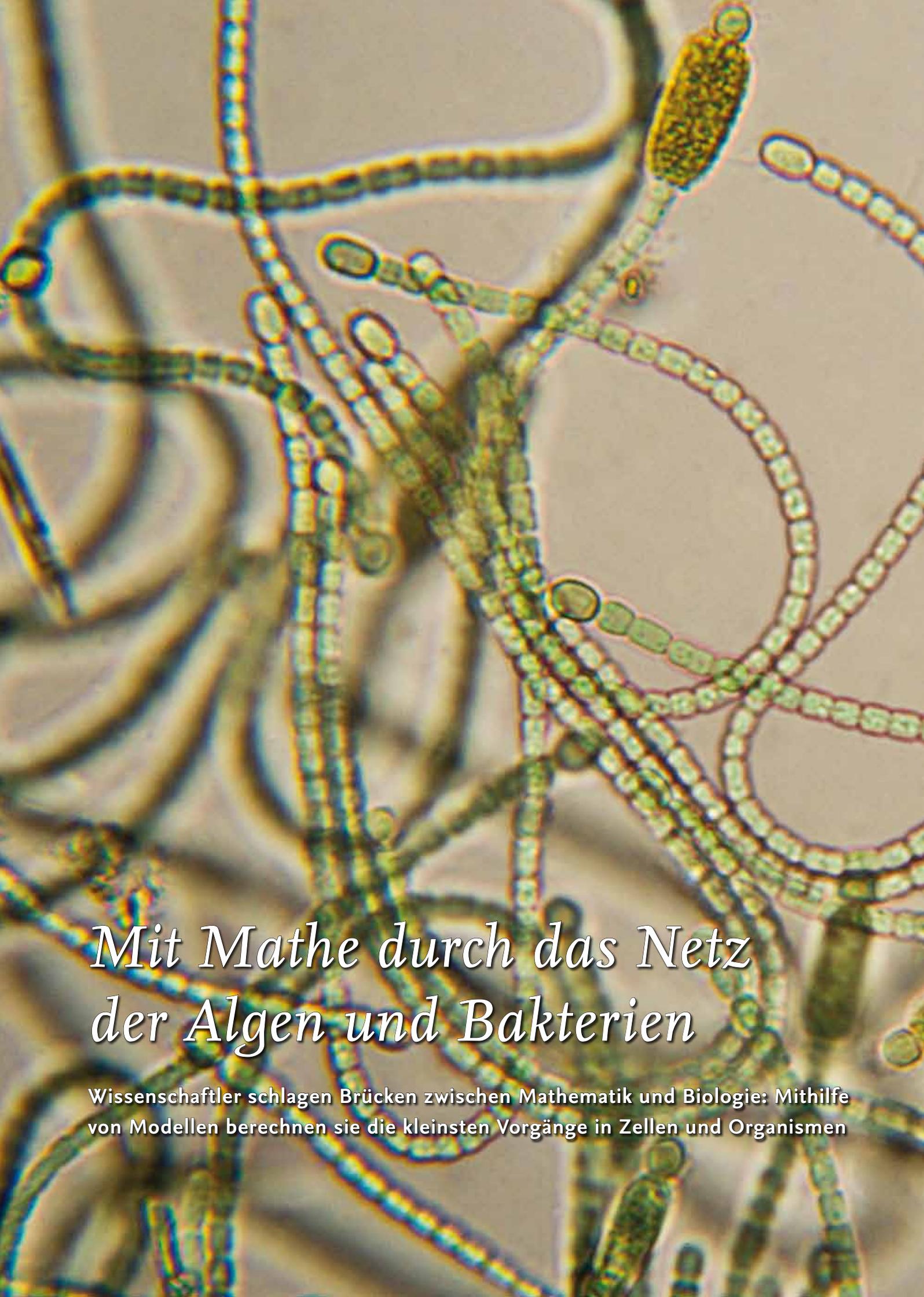
Ich bin einverstanden, dass die Angaben zu Vereinszwecken in einer rechnergestützten Adressdatei gespeichert werden. Alle Angaben sind freiwillig.

Hiermit ermächtige ich Sie widerruflich, die zu entrichtenden Zahlungen bei Fälligkeit zu Lasten des Kontos durch Lastschrift einzuziehen.

Kontoinhaber _____

Kontonummer _____ BLZ _____ Geldinstitut mit Ortsangabe _____

Datum _____ Unterschrift _____

A detailed microscopic image of green algae filaments. The filaments are composed of individual cells, some of which are elongated and contain internal structures. The filaments are intertwined and form a complex network. The colors are primarily green and yellow, with some blue and red highlights, likely due to the staining process used in microscopy.

Mit Mathe durch das Netz der Algen und Bakterien

Wissenschaftler schlagen Brücken zwischen Mathematik und Biologie: Mithilfe von Modellen berechnen sie die kleinsten Vorgänge in Zellen und Organismen





VON GISELA GROSS

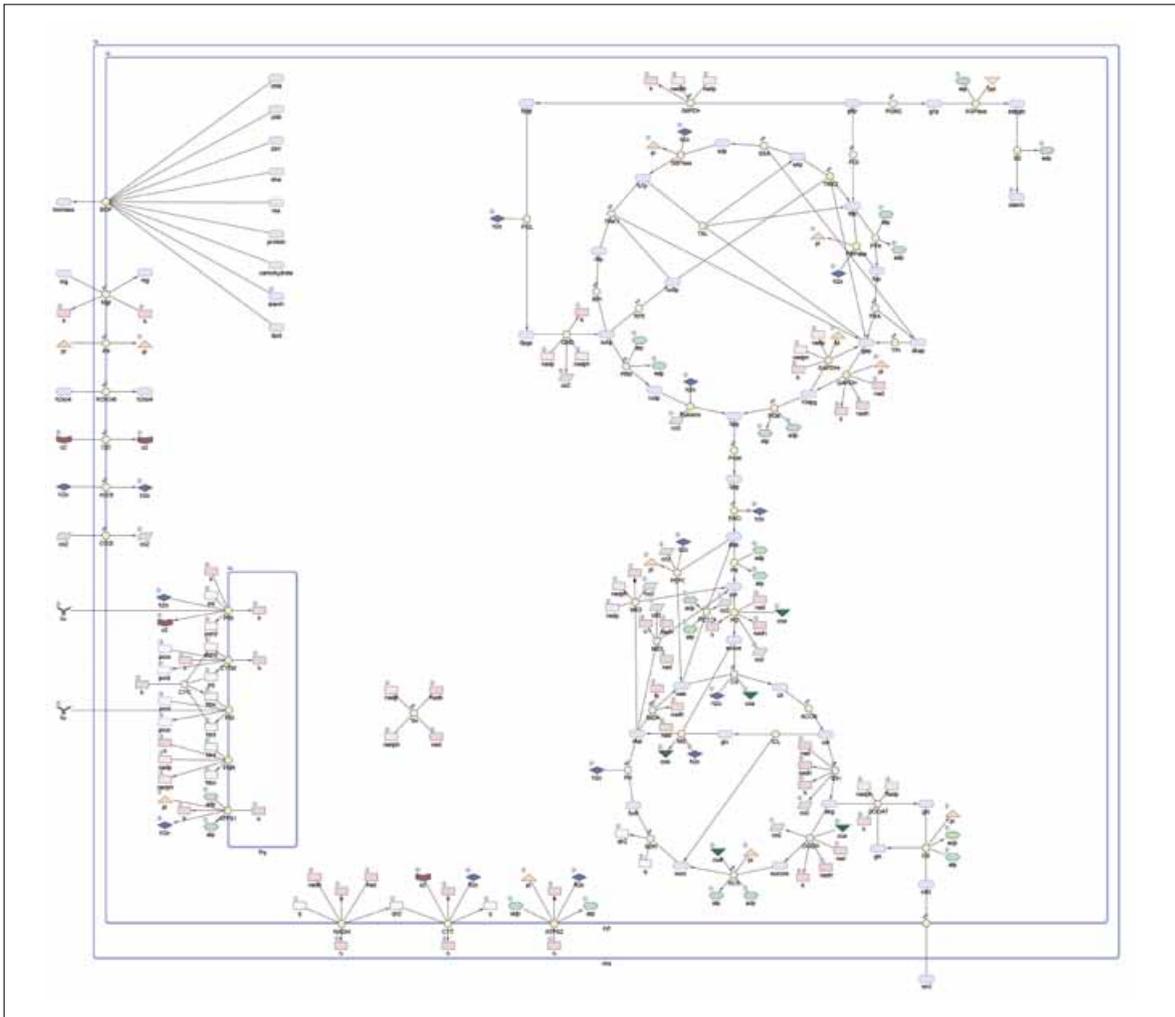
Ein wenig Licht genügt – und die Grünalge lässt sich als Produzent von Biokraftstoff nutzen. Damit dies in Zukunft effizienter gelingt, analysieren Mathematiker wie Alexander Bockmayr und Heike Siebert den Stoffwechsel des Mikroorganismus. Mit Formeln, Graphen und schnellen Computern bringen sie auch in weiteren Fällen die experimentelle Arbeit von Partnern aus Biologie und Medizin voran.

Das bestgehütete Geheimnis eines jeden Bäckers sind seine Zutaten: Nur wer die exakten Mengen zur rechten Zeit verrührt, erhält nach der Zeit im Ofen statt einem nassen Teig ein knuspriges Resultat. Reaktionen wie diese laufen in der Natur ganz ähnlich ab: Selbst kleinste Organismen verarbeiten bestimmte „Zutaten“ aus ihrer Umwelt zu neuen Stoffen – bei der Photosynthese etwa stellen Pflanzen aus Kohlendioxid und Was-

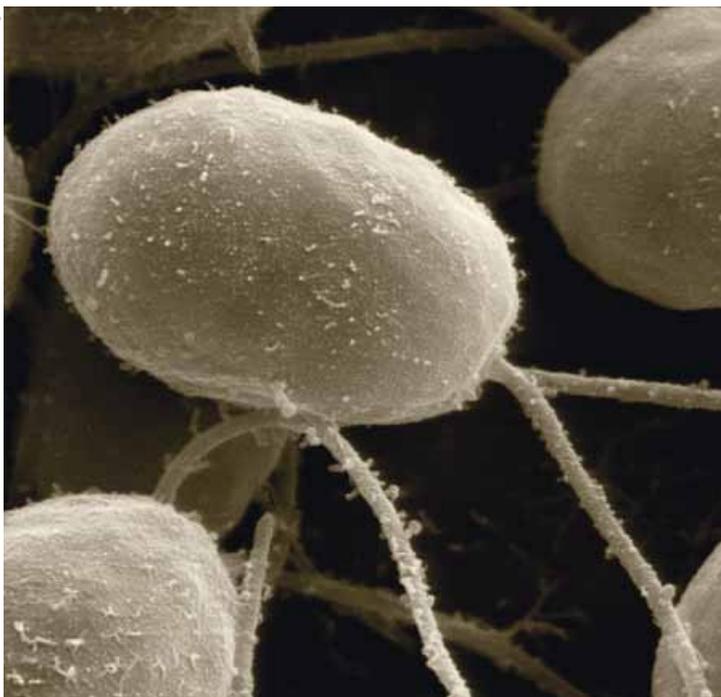
ser durch Lichtzufuhr Traubenzucker und Sauerstoff her. Für die Untersuchung derartiger biologischer Vorgänge interessieren sich Wissenschaftler in der mathematischen Systembiologie. Dabei sind die Ausgangsstoffe und Zielprodukte allerdings nicht so leicht zu überschauen wie beim Kuchenbacken.

Hinter dem Schreibtisch des Mathematik-Professors Alexander Bockmayr hängt darum ein großes Poster. Darauf sind unzählige Kreise und Quadrate durch Linien verbunden, die sich wiederum an bestimmten Punkten kreuzen. Es könnte der Schaltplan eines Atomkraftwerkes sein, tatsächlich handelt es sich aber um eine schematische Darstellung biochemischer Reaktionswege. Bereits in den 1970er Jahren haben Biologen die kleinsten Prozesse und Reaktionen in Lebewesen auf diese Weise veranschaulicht: „Wir haben es zu tun mit tausendenden von Molekülen und Reaktionen“, sagt Bockmayr, „mit einem komplexen metabolischen Netzwerk“. Der Wissenschaftler zieht gerne die Netzpläne des öffentlichen Nahverkehrs heran, wenn er

Könnte der Schaltplan eines Kraftwerks sein, ist aber eine schematische Darstellung biochemischer Reaktionswege.



Alexander Bockmayr



Steht im Mittelpunkt der
Forschung von
Alexander Bockmayr:
die Grünalge
Chlamydomonas reinhardtii.

Laien von seiner Arbeit berichtet. Vereinfacht betrachtet stehen Fahrgäste wie Mathematiker vor derselben Frage: Wie gelange ich mit bestimmten Linien über bestimmte Punkte an mein Ziel? Solche Bilder sind für Bockmayr ein wichtiges Instrument, um seine Disziplin zu erklären: Die mathematische Systembiologie ist eines der jüngsten Anwendungsgebiete der Mathematik, dessen Bedeutung in den vergangenen Jahren stark zugenommen hat.

Der Stoffwechsel einzelliger Organismen steht derzeit bei zwei Forschungsprojekten von Bockmayr und seinem Team an der Freien Universität und dem DFG Forschungszentrum MATHEON im Mittelpunkt. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern in Frankreich haben sie zum einen die Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* im Blick. In einem weiteren Projekt, das von der Einstein-Stiftung gefördert und gemeinsam mit Wissenschaftlern der Humboldt-Universität und der Hebräischen Universität Jerusalem durchgeführt wird, geht es um Cyanobakterien, auch Blaualgen genannt. So sehr sich Blau- und Grünalgen in ihren biologischen Eigenschaften unterscheiden, ihr Stoffwechsel lässt sich mit ähnlichen mathematischen Methoden untersuchen – und dies nicht nur um des Analysierens willen.

Beide Algenarten können nämlich zur Herstellung von Biokraftstoff benutzt werden. Aus Ausgangsstoffen wie Wasser oder Kohlendioxid lassen sich mithilfe der Algen etwa Ethanol oder Wasserstoff produzieren. Alles was die Algen für diese Reaktionen brauchen, ist ausreichend Licht. Bisläng wird Ethanol oft aus Rohstoffen wie Mais gewonnen, die anderswo als Nahrungsmittel

benötigt werden. Alternative Techniken sind also gefragt.

Wie an dieser Stelle die Mathematik ins Spiel kommt? Wer mit Algen möglichst viel Biokraftstoff produzieren will, muss die Stoffwechselwege kennen, auf denen er entsteht – am besten genau berechnet. Denn den Ausgangsstoffen steht im Netzwerk eine Vielzahl von möglichen Reaktionswegen offen. Von Interesse sind vor allem kurze Wege, Wege ohne viele Zwischenstationen. Von elementaren Stoffwechselfpfaden spricht Bockmayr in diesem Zusammenhang. Obwohl es davon nur endlich viele gibt, ist die Anzahl noch immer sehr, sehr hoch: Bei großen Netzwerken liegen mehrere hundert Millionen Wege vor. „Selbst mit leistungsfähigsten Rechnern kann man das nicht einfach durchprobieren.“ Stattdessen entwickeln die Wissenschaftler mathematische Verfahren, die gezielt nur solche Pfade berechnen, die für die gegebene Fragestellung relevant sind.

Auch die richtigen Lichtbedingungen für ein möglichst großes Algenwachstum gehören zu den Variablen, die die Wissenschaftler untersuchen. Denn die Alge produziert nicht rund um die Uhr dieselben Stoffe. Wie der Mensch verhalten sich die Organismen bei Tag und Nacht völlig unterschiedlich. „Wenn die Sonne aufgeht, setzt das Licht eine Reihe von Prozessen in Gang“, sagt der Mathematiker, „das Bakterium beispielsweise will ja letztendlich wachsen und braucht dafür bestimmte Zellbausteine.“ Diese stellt es sich der Reihe nach bereit, während zeitgleich etliche weitere Vorgänge im Stoffwechsel ablaufen. „Man muss es sich so vorstellen, dass sich die Flüsse in einer bestimmten Reihenfolge auf das Netzwerk vertei-



len“, sagt Bockmayr. „Wie würden gerne verstehen, nach welchen Gesetzmäßigkeiten dies geschieht.“

Nicht nur der Algen-Stoffwechsel ist ein Fall für die Mathematiker der Freien Universität. Auch andere molekulare Netze werden in Dahlem erforscht: Signalwege etwa. Dabei werden zwischen Zellen bestimmte Moleküle übertragen, die die Zellentwicklung steuern. Sie lösen gewissermaßen die weitere Entwicklung der Zelle aus – dabei kann es sich schlicht um eine Teilung handeln, aber auch um den Beginn einer Erkrankung.

Der Ablauf im Körper ist dabei vergleichbar mit Dominosteinchen, die beim Umfallen eine Kettenreaktion auslösen: „Signalmoleküle kommen an einem Rezeptor an der Zellwand an und beeinflussen damit weitere Moleküle in der Zelle. Als Reaktion kann etwas Neues entstehen“, sagt die Mathematikerin Heike Siebert. Solche regulatorischen Netze und die Signalwege von Molekülen darin gehören zu den Forschungsschwerpunkten der Professorin. „Diese Prozesse sind unglaublich kompliziert, aber sie stecken überall.“

Von medizinischem Interesse ist dabei, wie man bestimmte Prozesse unterbinden und Reaktionen im Stoffwechsel ausschalten könnte. Siebert erforscht darum in den nächsten fünf Jahren mit ihrer Arbeitsgruppe und Kollegen der Charité – Universitätsmedizin Berlin beispielsweise die Vorgänge eines bestimmten Signalweges. Er ist bekannt dafür, dass er etwa den Zellzyklus und Zelltod steuert – und damit für die Krebsforschung relevant.

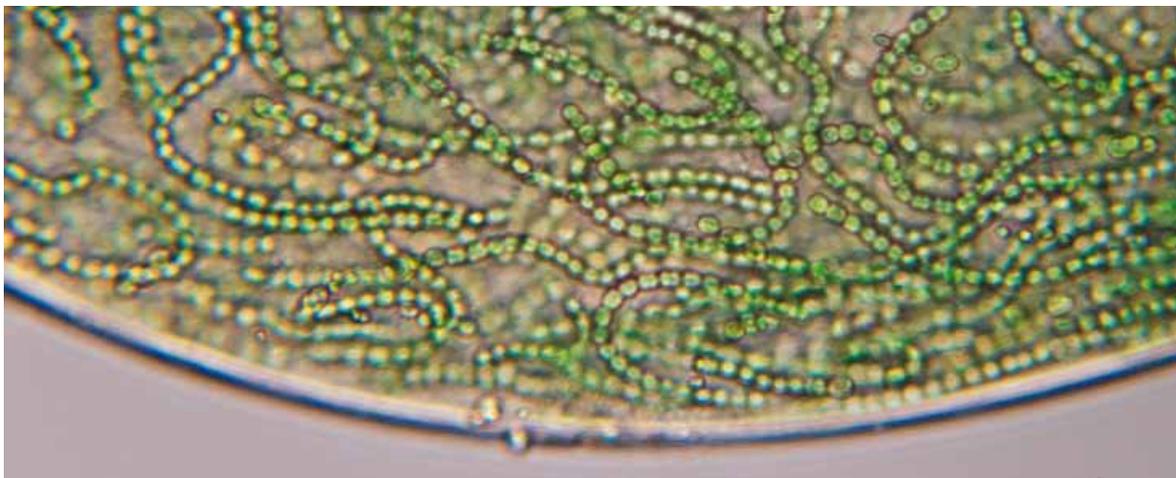
Medizinische Wirkstoffe könnten unerwünschte Reaktionen unterbinden helfen, indem sie den Signalweg beeinflussen oder ganz sperren. „Bislang zeigen erst Arzneimittelstudien, was bei der Blockade eines Signalweges passiert“, sagt Siebert. Mit mathematischen Modellen könne man jedoch bereits im Voraus herausfinden, welche Konsequenzen es für das Netz-

werk hat, wenn bestimmte Verbindungen nicht mehr zustande kommen.

Bevor Bockmayr und Siebert solche Modelle am Computer entstehen lassen, ist oft monatelange Vorarbeit nötig. Unerlässlich dafür ist ein sehr enger Austausch mit den Kollegen aus der Biologie: Sie liefern die Anhaltspunkte dafür, wie die kleinsten Organismen „ticken“. Die Mathematiker suchen dann nach grundlegenden Zusammenhängen und Abhängigkeiten, um das biologische System auf ihre Disziplin zu übertragen – dieser Schritt gilt als schwierigster Teil der Arbeit. Mathematische Fragen wie diese bearbeitet Heike Siebert zunächst ganz klassisch mit Schmierpapier und Bleistift. Ihr früheres Biologie-Studium kommt ihr dabei zugute. Voraussetzung für die mathematische Systembiologie ist dieses Fachwissen nicht. Doch die Bereitschaft, sich in biologische Zusammenhänge einzuarbeiten, vereinfacht die Kommunikation mit den Partnern und damit die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Daher legt Heike Siebert den Fokus ihrer Arbeit auf die Entwicklung der mathematischen Methoden. Der Gedanke an die spätere Anwendung sei zunächst einmal zweitrangig. „Die Mathematik ist universell: Ich kann verschiedenste Signalwege in verschiedenen Organismen mit denselben Methoden betrachten – unabhängig von der Interpretation im realen Kontext.“ Bei Alexander Bockmayr sind wiederum andere Vorerfahrungen nützlich. Vor seinem Wechsel an die Freie Universität im Jahr 2004 befasste er sich als Mathematiker mit der Produktionsplanung von Autos. „Ich stelle viele Analogien zur jetzigen Arbeit fest“, sagt der Professor, „denn auch die Zelle muss mit ihren Ressourcen effizient ein bestimmtes Produkt herstellen.“

Ist die mathematische Grundlage gelegt, folgt die eigentliche Entwicklung des Modells. Dabei bilden die Forscher die biologischen Prozesse digital nach: Sie

Der Stoffwechsel von Cyanobakterien, besser bekannt als Blaualgen, lässt sich mit ähnlichen mathematischen Methoden untersuchen wie der Stoffwechsel der Grünalgen.



istockphoto/Pgiam

zeichnen etwa die vorgegebenen Stoffwechselnetzwerke und weisen den einzelnen Komponenten bestimmte Eigenschaften oder Abhängigkeiten zu. Dabei beginnen sie auf recht einfacher Ebene und erweitern ihr Modell Schritt für Schritt um Details.

„Einerseits definieren wir dafür Graphen“, sagt Siebert. Diese geben Auskunft über die Struktur des Netzwerkes – dabei handelt es sich allerdings um ein statisches Bild. „Signale und ablaufende Reaktionen sind aber dynamische Prozesse“, erklärt Siebert. Solche Abläufe können etwa Differenzialgleichungen widerspiegeln. Diese Gleichungen können mehrere Variablen enthalten und beschreiben das Änderungsverhalten dieser Größen. „Man braucht aber sehr viele experimentelle Informationen, um die Gleichungen sinnvoll aufstellen zu können.“ In vielen Fällen reicht die in der Biolo-

gie vorliegende Datengrundlage jedoch nicht aus. Denn bestimmte Vorgänge auf der Mikroebene lassen sich in bislang möglichen Experimenten gar nicht messen.

Daher nutzen die Mathematiker abstraktere Modelle – die Rede ist dann von diskreter Modellierung. „Wir gehen davon aus, dass bestimmte Komponenten des Netzwerkes nur aktiv oder inaktiv sein können – auch wenn das in der Wirklichkeit natürlich nicht so ist“, sagt Siebert. Auch zeitliche Abläufe und die räumliche Verteilung lassen die Mathematiker außen vor, obwohl Informationen darüber vorliegen. „Es ist immer ein Kompromiss: Nutzt man zu viele Details, wird das Modell zu komplex und es ist nicht mehr zu handhaben“, sagt Siebert. Sie beschreibt die Modelle als Methode der Annäherung, mithilfe derer man die Dynamik verstehen könne.

Schließlich nutzen die Mathematiker die Modelle, um sich etwa Wege mit bestimmten biochemischen Eigenschaften ausgeben zu lassen – beispielsweise mit welchen Lichtbedingungen der Ethanol-Ertrag am größten ausfällt. Aber auch die Ergebnisse aus dem Modell sind meist so komplex, dass sie einer weiteren Analyse bedürfen – etwa im Vergleich mit Modellen anderer Gruppen für dasselbe Netzwerk. Bei der Modellbildung wie auch bei der Analyse sieht Siebert den Brückenschlag zur Biologie als notwendig an: „Wenn man bei einem Modell nicht genau versteht, was man weggelassen oder abstrahiert hat, ist es eigentlich wertlos.“

Mathematik und Biologie ergänzen sich, davon ist auch Bockmayr überzeugt. Das theoretische Arbeiten auf der einen und das experimentelle Forschen auf der anderen Seite ermöglichen erst die Annäherung an bestimmte Probleme. Mithilfe der Mathematik können Biologen beispielsweise eine Vielzahl von Hypothesen auf einige wenige reduzieren. Nur mittels Experimenten wären manche Vorhaben ungleich aufwendiger oder gar nicht erst zu realisieren. Im Fall der Grünalgen analysierten die Mathematiker am Rechner die Flussverteilungen bei rund 100 verschiedenen Beleuchtungsbedingungen. 15 elementare Stoffwechselffade waren für die ursprüngliche Fragestellung relevant: Mit dieser handlichen Auswahl können sich die Biologen im Labor der weiteren Untersuchung widmen.

Angesichts der vielen bereits entschlüsselten Prozesse auf molekularer Ebene glaubt Bockmayr an einen langsamen Wandel der Biologie: „Wir stellen uns vor, dass wir einen immer größeren Teil der Netzwerke mathematisch analysieren und beschreiben können.“ Ein Stück weit würden biologische Abläufe damit vorhersehbarer. Ähnlich wie es in der Physik ganz selbstverständlich mit mathematischen Methoden möglich ist, die Flugbahn einer Rakete bereits vor deren Start zu berechnen.

Prof. Dr. Alexander Bockmayr



Alexander Bockmayr, Professor für Mathematik und Bioinformatik, leitet an der Freien Universität die Arbeitsgruppe „Mathematik in den Lebenswissenschaften“. Aufbauend auf der diskreten Mathematik, Logik und Optimierung befasst er sich mit mathematischen und rechnergestützten Methoden zur Problemlösung in der molekularen Systembiologie. Im Zentrum der Arbeit stehen metabolische und genregulatorische Netzwerke.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Mathematik
E-Mail: Alexander.Bockmayr@fu-berlin.de

Prof. Dr. Heike Siebert



Heike Siebert ist Professorin für Mathematik an der Freien Universität Berlin. Seit 2005 forscht sie unter anderem am MATHEON an Fragen der mathematischen Systembiologie. Dabei steht die Methodenentwicklung für die Konstruktion und Analyse von Modellen komplexer biologischer Vorgänge im Mittelpunkt. Die mathematischen Modelle unterstützen die Erforschung der Funktionsweise verschiedener molekularer Netzwerke.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, Institut für Mathematik
E-Mail: siebert@mi.fu-berlin.de

Formeln für die Traumfabrik

Konrad Polthier macht Zahlen und Formeln sicht- und erlebbar: Mit Mathematik hilft der Wissenschaftler auch Fabelwesen und Monster im Film zum Leben zu erwecken – aber nicht nur.







VON MELANIE HANSEN

Wenn Spiderman im Kinofilm nur an einem dünnen Faden durch die Häuserschluchten New Yorks schwebt oder Harry Potter auf seinem Rennbesen der Firma Nimbus durch die Luft pest, steckt weder Superheldenkraft noch Zauberkunst dahinter, sondern Mathematik. Der Wissenschaftler Konrad Polthier entwickelt Algorithmen, die dem Computer vorgeben, wie aus Zahlen eine perfekte filmische Illusion entsteht.

Eigentlich müsste die Mathematik im Abspann von Filmen wie Matrix, Shrek oder Spiderman auftauchen. Ohne die mathematische Vorarbeit von Konrad Polthier und seinem Team wären Kassenschlager wie diese nämlich um einige atemberaubende Szenen ärmer. „Monster oder andere filmische Fantastereien werden von einer Software konstruiert, in die unsere mathematischen Konzepte eingeflossen sind“, fasst Konrad Polthier, Mathematik-Professor an der Freien Universität Berlin, die Arbeitsschritte von der Zahl zur Hollywood-Utopie zusammen.

Wie viel Mathematik nötig ist, um die Illusion perfekt zu machen, bekommt der Zuschauer im Kinoses-

sel nicht mit. Genauso wie ihm verborgen bleibt, dass die künstlich geschaffene Filmwelt eigentlich aus einem Netz von Dreiecken besteht. Polthiers Fachgebiet ist nämlich die Geometrie – genauer gesagt die Differentialgeometrie und ihre Anwendung in Visualisierung und Computergraphik. Um Figuren im Film perfekt zu animieren, brauchen sie ein Gerüst. Dafür werden zuerst Form und Oberfläche von Menschen oder Kunststoff-Figuren mit einem speziellen 3-D Scanner abgetastet, wie er auch auf dem Campus steht – in Konrad Polthiers Geometrielabor.

Hollywood ist nur eine Tür weiter

Die Software errechnet aus dem 3D Scan dann ein Geflecht, das aus Millionen von Punkten besteht. Über diese Punkte spannt der Computer ein Netz aus Dreiecken. Das eigentliche Gerüst der virtuellen Modelle. Damit ein Monster wie Godzilla jedoch sein Maul aufreißen oder Spiderman durch die Luft fliegen kann, muss dieses Dreiecksnetz digital weiterverarbeitet werden. Damit die Dreiecke für den Film laufen lernen, muss alles in ein sogenanntes strukturiertes Modell konvertiert werden. Die Software zu entwickeln, die das virtuelle Dreiecks-Gerüste in ein Modell verwandelt, das sich

Feline-Modell heißt die Figur, die mit einem Netz aus Dreiecken überzogen ist, mit dessen Hilfe Oberflächen am Rechner modelliert und verändert werden können.



effektiv in den Modellierungsprozess einbinden lässt, ist eine der großen Leistungen der Berliner Mathematiker. „Dieser Übergang war bis vor kurzem noch mit viel Handarbeit verbunden“, sagt Konrad Polthier. Mit der Software der Wissenschaftler ist der Wandel vom irregulär abgetasteten zu einem hochstrukturierten Modell heute aber kein Problem mehr: „Hier haben wir wirklich einen fundamentalen Algorithmus entwickelt, der einen Durchbruch in der Bearbeitung digitaler Modelle darstellt“, sagt Polthier.

Wichtig sei jedoch auch ein Kompressions-Algorithmus, der ebenfalls in Dahlem berechnet wurde. Besonders ausgeklügelte Hollywood-Monster – etwa die Armeen der Orks aus der Herr der Ringe Trilogie – können nämlich aus hunderttausenden bis Millionen kleiner Dreiecken zusammengesetzt sein. Bei jeder winzigen Bewegung, Mimik oder Gestik entstehen also riesige Datenmengen – schließlich muss für die Bewegung die Position jedes einzelnen Teils neu berechnet werden. Selbst für Hochleistungsrechner ist dies kaum zu bewältigen.

Ein Shrek = 20 Millionen Rechenstunden

Deutlich machen dies zum Beispiel die Zahlen des dritten Teils der Shrek-Filmreihe: Hinter knapp 90 Minuten Filmvergnügen steckten 20 Millionen Rechenstunden, für die rund 20 Terabyte Speicherplatz benötigt wurde. „Wir haben einen Algorithmus entwickelt, um die Dreiecksnetze ganz effektiv abspeichern zu können, so dass sie ohne Probleme bearbeitet oder übers Internet verschickt werden können“, sagt der Mathematik-Professor. Vergleichbar sei die Kompression der geometrischen

Prof. Dr. Konrad Polthier



Konrad Polthier leitet die AG „Mathematical Geometry Processing“ am Institut für Mathematik der Freien Universität Berlin. Er forscht vor allem zu mathematischen und geometrischen Prozessen, zur diskreten Differentialgeometrie und zur Visualisierung der Mathematik. Als Vorsitzender der universitätsübergreifenden Graduiertenschule „Berlin Mathematical School“ (BMS) unterrichtet er mehr als 150 internationale Master- und PhD-Studierende. Darüber hinaus ist Konrad Polthier auch im Vorstand des berlinweiten Forschungszentrums MATHEON.

Kontakt:

Freie Universität Berlin, AG Mathematical Geometry Processing
E-Mail: konrad.polthier@fu-berlin.de

DER DREIERPACK FÜR SIE ZUM KENNENLERNEN!

DIGITAL PRODUCTION

DAS FACHMAGAZIN FÜR DIGITALE MEDIENPRODUKTION

FILM & VFX | INTERAKTIVE MEDIEN
3D & ANIMATION | PRODUKTDESIGN
INDUSTRIEVISUALISIERUNG
SCIENCE & EDUCATION | DIGITAL ART



IM KURZ-ABONNEMENT ERHALTEN
SIE DREI AKTUELLE HEFTE ZUM
PREIS VON EINEM &
DAS eMAGAZINE GRATIS DAZU.

www.digitalproduction.com/kennenlernen

Ihre Service-Hotline T: +49(0)61 23 92 38-2 13
F: +49(0)61 23 92 38-2 14 E: order@digitalproduction.com



3D-Daten mit dem JPEG-Verfahren für digitale Fotografien oder der Komprimierung von Audio-Signalen durch das MP3-Format. Um das 200-fache lassen sich die Daten mit der Methode der Mathematiker verkleinern – und das ohne jeglichen Qualitätsverlust.

Aber schon lange vor seinen ersten Hollywood-Filmen war Polthier davon fasziniert, Mathematik und die Ergebnisse von Formeln sichtbar zu machen, seit Beginn seiner Studienzeit beschäftigte sich der Wissenschaftler damit. Auslöser waren damals auch die drögen Geometrie-Lehrbücher: staubtrocken seien diese gewesen, seitenlang nur Formel an Formel gereiht, die zwar Eigenschaften der Formen und Körper beschrieben, diese aber nicht wirklich verständlich dargestellt hätten. „Nach Grafiken habe ich in diesen Büchern als Student vergeblich gesucht“, sagt Polthier. Gerade die Geometrie würde aber von sichtbaren klassischen Formen leben: „Das ist so, als ob man Physik studiert, ohne die dazugehörigen fundamentalen Experimente kennenzulernen.“

Also fing der Student Polthier damit an, selbst Grafiken zu entwickeln und auszudrucken. Sein damaliger Mathematik-Professor nahm die Formel- und Funktionsbilder gerne an und kopierte sie für die Studierenden auf die Übungsblätter, die er im Seminar verteilte. Im fünften Semester hatte Polthier schließlich so viele Grafiken zusammen, dass er einen Kalender mit den mathematischen Bildern veröffentlichte.

Während Mathematik für viele ein Buch mit sieben Siegeln ist und bleibt, ist sie für den Wissenschaftler vor

allem eins: anschaulich – und diese Ansicht spiegelt sich auch in Polthiers Büro wider: Bunte Dreiecke, Würfel und Vierecke reihen sich als dreidimensionale Modelle auf einem Regal hinter seinem Schreibtisch auf.

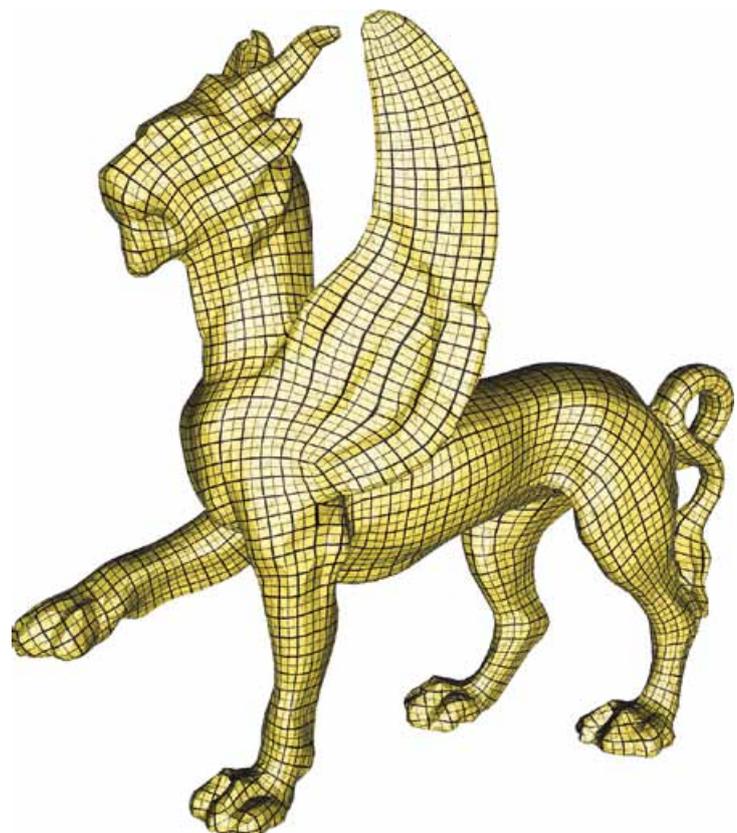
An der Wand hängt ein Plakat mit der Frage „What would Hollywood be without math?“ – „Was wäre Hollywood ohne Mathematik?“

Auf jeden Fall wär es für Hollywood um einiges schwerer, die Zuschauer mit spektakulären Bildern zu faszinieren. Auf Nachschub aus Berlin können die Produzenten aber bauen: Polthier und seine Kollegen arbeiten eng mit dem in der Hauptstadt ansässigen Unternehmen Mental Images zusammen – neben dem amerikanischen Unternehmen Pixar eine der führenden Animationsfirmen weltweit. Mathematische Forschung und Industrie zusammenzubringen, ist neben der Visualisierung der Mathematik eines der wichtigen Ziele Polthiers.

Besonderen Einfluss hat hier das DFG-Forschungszentrum „Mathematik für Schlüsseltechnologien“ – kurz MATHEON –, in dessen Vorstand er sitzt. MATHEON ist ein Verbund aus 200 Wissenschaftlern, der 2002 gegründet wurde. „MATHEON hat grundlegende Weichenstellung geleistet für die Zusammenarbeit zwischen Mathematik und Industrie. Vorher war dies nur in eingeschränktem Maße möglich“, sagt er.

Die Zusammenarbeit zwischen den Mathematikern und Mental Images ist nur ein Beispiel für eine Vielzahl an Kooperationen – aber eine besonders erfolgreiche.

Das Vierecksnetz auf dem Feline-Modell wird mit dem sogenannten Quad-Cover-Algorithmus erzeugt, der Techniken aus der Differentialgeometrie verwendet.





BERLINER
PHILHARMONIKER

25 JAHRE
KAMMERMUSIKSAAL

ENTDECKEN SIE DAS ORIGINAL

KONZERTE UND FESTAKT ZUM JUBILÄUM

27. OKTOBER 2012 — AB 11 UHR

www.berliner-philharmoniker.de





Rechenheft in Stichpunkten

KURZ-FUNDIERT

Auch wenn es manchen nicht passt: Mathematik steckt fast überall in unserem Alltag. In Versicherungspolice, Kultfilmen und der Eheberatung. Und natürlich auch auf den letzten Seiten dieses Heftes. Aber damit haben Sie vermutlich schon gerechnet ...

1. Wenn Betrüger 9 gerade sein lassen...

... dann fliegt das manchmal auf – dank einer Regel, die der amerikanische Mathematiker Simon Newcomb Ende des 19. Jahrhunderts entdeckte. Ihm war aufgefallen, dass in Logarithmentafeln, die man damals für viele Berechnungen brauchte, die ersten Seiten viel stärker abgegriffen waren als die hinteren. Er folgerte daraus, dass bei langen Zahlen die 1 häufiger an erster Stelle steht als andere Ziffern. Seine Publikationen dazu stießen jedoch kaum auf Interesse. Erst der Physiker Frank Benford entdeckte sie wieder. Anhand verschiedenster Statistiken zu Einwohnerzahlen bis zu Baseball-Ergebnissen stellte er fest, dass in 30 Prozent der Fälle eine

Bei den Simpsons wimmelt es vor Anspielungen auf die Mathematik.



1 als erste Ziffer einer Zahl vorkommt und in rund 18 Prozent die 2. Eine 9 ist es in weniger als 5 Prozent der Fälle. Auch wenn Benfords Regel unter Wissenschaftlern bisher eher als mathematisches Kuriosum gesehen wurde, gibt es immer mehr Fälle, in denen sich die Regel bewahrheitet. Weichen Zahlen stark von der Verteilung ab, ist das ein Hinweis auf manipulierte Daten. So konnte auch die kreative Buchführung beim US-Energiekonzern ENRON aufgedeckt werden. Und die vermutlich manipulierten Haushaltsdaten Griechenlands – allerdings erst 2011.

2. ... und sie lachen doch!

Der Satz von Fermat, eine Rechenregel benannt nach dem französischen Mathematiker Pierre de Fermat, als Fernseh-Entertainment? Doch, das gibt es schon lange. In der US-amerikanischen Zeichentrickserie „The Simpsons“ wimmelt es nur so von mathematischen Anspielungen und Problemen. Kein Wunder, denn der Erfinder der Serie, Mat Groening, und einige der Autoren sind Mathematiker. Chefschreiber Al Jean etwa hat einen Bachelor in Mathematik, und Ken Keeler, der bis 1998 an der Serie mitarbeitete, promovierte sogar in Angewandter Mathematik. Wenn die Hauptfigur Homer Simpson in einer Folge also aus Versehen in der dritten Dimension unterwegs ist und mathematische Probleme im wahrsten Sinne des Wortes „streift“, ist das zwar nicht immer ganz ernstzunehmende Mathematik. Aber zumindest eine Ironie, über die man mit etwas Ahnung von der Materie mehr schmunzeln kann.

3. Eine Schwäche für Mathe

Wenn Kinder mit Zahlen manchmal gar nichts anfangen können, ist das nicht immer ein Zeichen von man-



gelder Begeisterung für Mathe. Manchmal kann auch eine Dyskalkulie dahinterstecken – also eine Rechenschwäche. Menschen mit Dyskalkulie haben weniger ein Problem mit Wurzeln oder Stochastik, also fortgeschrittener Mathematik.

Menschen mit Dyskalkulie fehlt es im arithmetischen Grundlagenbereich. Sie haben zum Beispiel keine Vorstellung für das Dezimalsystem, sie wissen nicht, wie Zahlen aufgebaut sind, oder es fehlt ihnen das Verständnis für die Grundrechenarten. Sie können deshalb auch kaum schätzen, wie viele Menschen sich an einem Ort befinden. Dyskalkulie ist längst nicht so gut erforscht wie die Legasthenie. Trotzdem gehen Forscher davon aus, dass auf der ganzen Welt zwischen vier und acht Prozent aller Menschen Schwierigkeiten mit Mengen- und Zahlenräumen hat.

4. Die Eheformel

Wenn Promis den Bund der Ehe schließen, treibt die Medien oft nur eine Frage um: Kann das gut gehen? Und wenn ja – wie lange? Der New-York-Times-Kolumnist John Tierney und der Statistiker Garth Sundem haben dafür eine vergleichsweise simple Formel entwickelt: Zur Berechnung wird der Ruhm beider Ehepartner, ausgedrückt durch Nennungen in den Medien, das Alter, die Dauer der Beziehung vor der Ehe und die Anzahl gescheiterter Beziehungen berücksichtigt. Und ein Image Faktor, der sich aus den ersten fünf Ergebnissen einer Bildrecherche bei Google ergibt. Nachdem sie die Chancen verschiedenster Promi-Paare durchgerechnet haben, sagen die beiden: Entscheidend für die Aussichten aufs gemeinsame Star-Glück ist, welcher Art die gemeinsame Prominenz ist.

Nennungen in seriösen Medien sind gut – weshalb die Chancen bei Prinz William und Kate der Formel

zufolge sehr gut stehen. Berichtet dagegen das Boulevardmagazin „The National Enquirer“ häufig über das Paar, stehen die Chancen weniger gut. Schlechte Prognosen haben nach der „Sundem/Tierney Unified Celebrity Theory“ deshalb vor allem Beziehungen zwischen Promis aus der zweiten oder dritten Reihe.

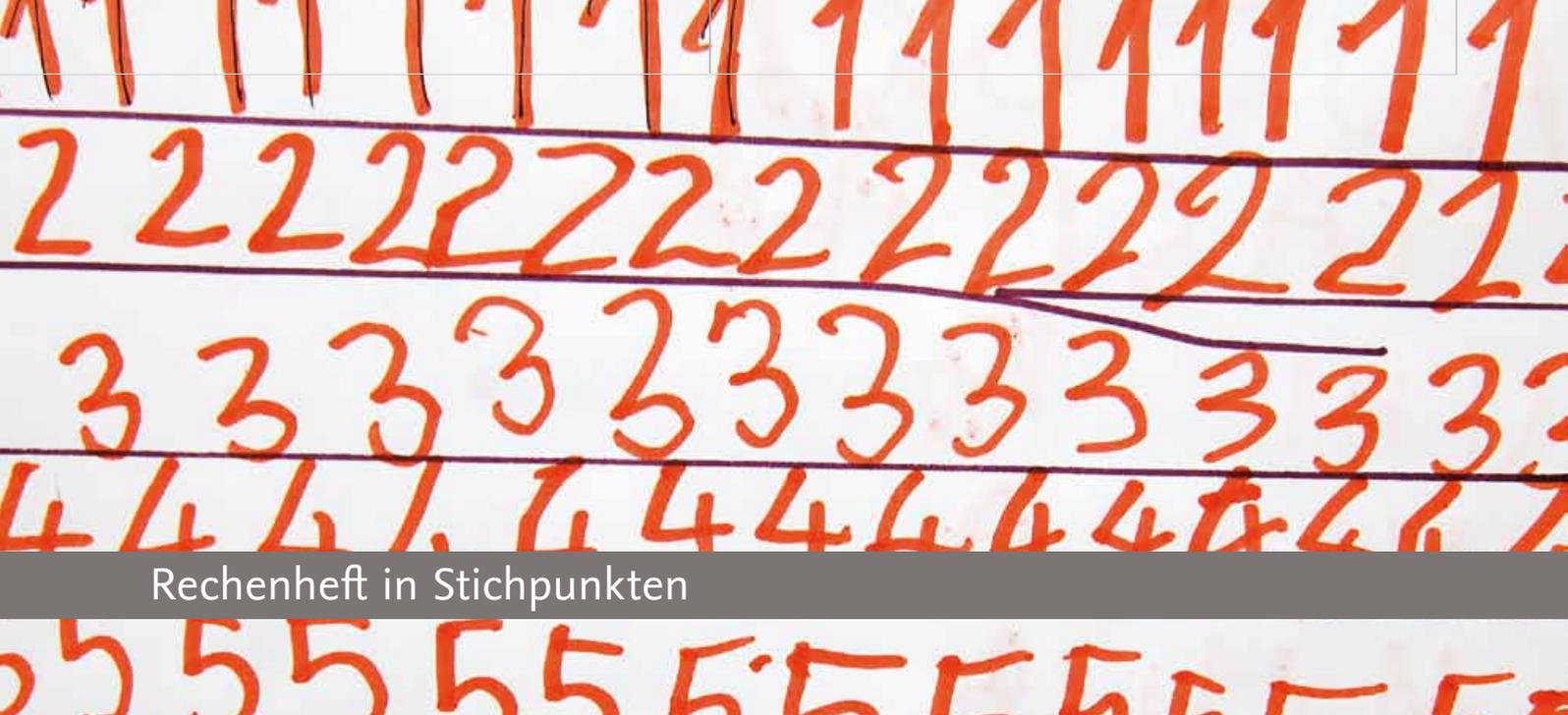
5. Ausgezeichnete Superrechner

Ein hervorragender Chemiker kann darauf hoffen, irgendwann einen Nobelpreis für seine Entdeckungen zu bekommen. Für Mathematik aber gibt es keinen Nobelpreis. Über die Gründe wird bis heute spekuliert – so soll der Stifter der Auszeichnung, Alfred Nobel, aus Eifersucht auf einen Mathematiker, der ihm eine Frau ausgespannt hatte, der Disziplin einen eigenen Preis verweigert haben. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass Nobel in Mathematik eine Hilfswissenschaft sah und deshalb gar nicht daran gedacht hatte.

Mittlerweile gibt es deshalb andere „Mathe-Oskars“, etwa den hochdotierten „Abel-Preis“ der Norwegischen Akademie der Wissenschaften. Mit weniger Geld, aber ebenso viel Ruhm ist die Verleihung der „Fields-Medaille“ verknüpft – die Internationale Medaille für herausragende Entdeckungen in der Mathematik. Sie wird alle vier Jahre verliehen. Der einzige deutsche Preisträger ist Gerd Faltings, der 1986 für seine Arbeit zu Algebraischen Kurven ausgezeichnet wurde.

6. Tierisch gut in Mathe

Der Mensch kann im Allgemeinen rechnen und Zahlen unterscheiden. Doch wie sieht es bei der tierischen Verwandtschaft aus? Haben Rhesusaffen zum Beispiel die Wahl zwischen drei oder vier Apfelstücke entscheiden sie sich immer für die größere Menge. Wenn sie sich



Rechenheft in Stichpunkten

zwischen vier oder fünf Stück entscheiden sollen, haben sie jedoch Probleme. Aus Versuchen wie diesem folgern Wissenschaftler, dass Tiere Mengen zwar spontan schätzen können – jedoch eher zwischen eins, zwei, drei und „ganz viele“. Mit Zahlen oder zählen hat ihre mathematische Begabung also wenig zu tun.

7. Diskrete Mängel

Mathematiklehrer in Deutschland sind international spitze – zumindest die Mathelehrer an Gymnasien, die auch Mathematik studiert haben. Das ergab die internationale Vergleichsstudie „Teds-M“, bei der die Fähigkeiten von Berufsanfängern im Fach Mathematik in 17 Ländern unter die Lupe genommen wurden. Dabei erreichten die Gymnasiallehrer für sich gesehen hervorragende Ergebnisse. Nahm man jedoch auch Real- und Hauptschullehrer dazu belegten die Pädagogen nur einen Platz im oberen Mittelfeld.

Dass die Qualität derart auseinanderklafft, hat der Studie zufolge auch mit den unterschiedlichen Ausbildungswegen zu tun. Mathelehrer kann man in Deutschland auf 98 verschiedenen Wegen werden – für ein Lehramt an Berliner Grundschulen muss man das Fach noch nicht einmal im Studium belegen.

8. Falsche Vorzeichen

Wie gut Frauen rechnen, wird stark von ihrer Selbsteinschätzung beeinflusst. Kanadische Psychologen stellten dazu zwei Gruppen von Probandinnen Mathematikaufgaben und gaben ihnen unterschiedliche Texte zu lesen. Ein Text belegte mit pseudowissenschaftlichen Thesen, dass die mathematischen Fähigkeiten ausschließlich genetisch bedingt seien und Frauen deshalb in Mathematik benachteiligt seien. Ein anderes Essay

betonte dagegen, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in der mathematischen Leistungsfähigkeit von sozialen Konstruktionen und der Güte des Mathematikunterrichts abhinge. In den Tests schnitten die Probandinnen am schlechtesten ab, die den angeblich wissenschaftlichen Text über genetisch bedingte Unterschiede in der mathematischen Begabung gelesen hatten. Damit konnten die Psychologen zeigen, dass pseudowissenschaftliche Klischees über mathematische Begabung immer noch zur selbsterfüllenden Prophezeiung werden können.

9. Matheverrückt

Hollywood ist mathebegeistert – sofern es um verrückte Professoren oder Mathegenies am Rande des Wahnsinns geht. In „A beautiful Mind“ etwa wird das Leben des Mathematikers John Forbes Nash erzählt. Der Mathematiker, der durch eine schwere Schizophrenie ein Leben zwischen geschlossener Psychiatrie, Princeton und dem MIT führte, wird im Film von Russel Crowe dargestellt. Die Verfilmung gewann mehrere Oscars.

Ein weiterer Film, der die Vorstellung von extremer mathematischer Begabung nachhaltig geprägt hat, ist „Rain Man“. Darin spielt Dustin Hoffman einen Autisten, der eine Inselbegabung hat – einen sogenannten „Savant“. Auch dieser Film bekam mehrere Oscars. Das Vorbild für die Filmfigur war Kim Peek, ein Autist, der durch eine besondere Ausprägung seiner geistigen Behinderung eine extreme Merk- und Rechenfähigkeit besaß. So konnte er zum Beispiel innerhalb von Sekunden zu jedem Datum der Geschichte den dazugehörigen Wochentag berechnen. In Wirklichkeit haben jedoch nur sehr wenige Autisten außerordentlich mathematische Fähigkeiten.

Zusammengestellt von Julia Rudorf

OPEN YOUR MIND!

Studien- und Forschungsaufenthalte
sowie Praktika im Ausland!



Eine Initiative von



DAAD

Deutscher Akademischer Austausch Dienst
German Academic Exchange Service

go studieren
weltweit **out!**
www.go-out.de

Ihr Sparpaket: iPad und Tagesspiegel E-Paper für nur 24 € im Monat.*

Sichern Sie sich Ihr Sparpaket zum einmaligen Vorzugspreis:

- iPad (3. Generation) mit 16 GB
- Tagesspiegel E-Paper
- Tagesspiegel-App für iPad und iPhone
- **Hardcase mit Standfunktion im Wert von 34,99 € gratis dazu – für alle Besteller bis zum 31. Oktober 2012!**

für nur 24 € im Monat!*



Gleich bestellen:
Telefon (030) 290 21 - 500
www.tagesspiegel.de/ipad3

DER TAGESSPIEGEL
RERUM CAUSAS
COGNOSCERE

*Einmalige Zuzahlung für iPad (3. Generation), 16 GB, schwarz, für W-LAN: 99,- € / für W-LAN und SIM-Karte: 195,- €. Preise inkl. MwSt. Die Mindestvertragslaufzeit beträgt 24 Monate. Der Kauf des iPad steht unter Eigentumsvorbehalt innerhalb der ersten 2 Jahre. Die Garantie für das iPad beläuft sich auf ein Jahr. Mit vollständiger Zahlung des Bezugspreises für die Mindestvertragslaufzeit geht das Eigentum am iPad an den Käufer über. Es gelten die unter tagesspiegel.de/ipad3 veröffentlichten AGB. Die einmalige Zuzahlung wird bei Lieferung des Gerätes fällig. Zusätzlich zur Zuzahlung werden 2,- € Nachentgelt erhoben. Nur so lange der Vorrat reicht.