

Kooperation mit Abu Dhabi

Vereinbarung zum Aufbau einer Medizinischen Fakultät unterzeichnet

Universität und Universitätsklinikum Bonn werden die Abu Dhabi University (ADU) beim Aufbau eines „German College of Medical and Health Sciences“ unterstützen. Der Dekan der Medizinischen Fakultät Professor Dr. Reinhard Büttner hat Anfang Februar auf der Nahost-Reise von Bundeskanzlerin Angela Merkel eine entsprechen-

de Vereinbarung unterzeichnet. Mitte März kamen Vertreter der ADU zum Gegenbesuch an den Rhein. „Wir werden unsere arabischen Kollegen sowohl bei der Organisation der Studiengänge als auch personell unterstützen“, versicherte Professor Büttner. Angela Merkel hatte auf ihrer Nahost-Reise den Austausch in den Bereichen

Kultur und Bildung als ganz besonderes Anliegen ihrer Außenpolitik bezeichnet. Die Kooperation sei dafür ein positives Beispiel. Abu Dhabi ist das wirtschaftsstärkste Mitglied der Vereinigten Arabischen Emirate und soll über 10 Prozent der Weltröhöreserven verfügen.

FL/FORSCH

► **Neue Partner (von links):** Der Provost der ADU Professor Dr. Owen F. Cargol, Prorektor Professor Dr. Max P. Baur, Vice President Kadri Mountassa, Privatdozent Dr. Klaus Fink vom Medizinischen Dekanat und Dekan Prof. Dr. Reinhard Büttner



Haben oder nicht haben

Von Zeitempfinden, Zeitmangel und Biorhythmus

„Gott schuf die Zeit. Von Eile hat er nichts gesagt.“ So steht es auf einer alten Küchenuhr, angeboten auf dem Bonner Flohmarkt. Eile, Hektik und Termine sind jedoch heute – in unseren Breiten zumindest – allgegenwärtig. Das Leben wird länger, aber Zeit wird überwiegend als Ressource gesehen, die man nutzen muss: In wenig Zeit viel machen und das in hoher Qualität und kostengünstig. Und wenn eine E-Mail nicht unmittelbar beantwortet wird, ist das schon fast ein Affront. Dabei leben die Menschen eigentlich schon seit der Erfindung der künstlichen Beleuchtung gegen ihren natürlichen Rhythmus.

„Ja, eine allgemeine Beschleunigung des Lebens findet sicher statt“, sagt der Psychologe Professor Dr. Arndt Bröder. „Der amerikanische Wissenschaftler Robert Levine hat den eindeutigen Zusammenhang mit dem Grad der Industrialisierung – und damit dem Zwang zur Effizienz – in umfangreichen Studien festgestellt. Dabei hat er sogar die Geschwindigkeit gemessen, mit

der sich Menschen unterschiedlicher Kulturen in einer Einkaufsstraße bewegen oder wie schnell man am Postschalter bedient wird.“ Sarah Schneider, Studentin der Medizinwissenschaft, hat für sieben Wochen in der Universitätsstadt Stellenboisch bei Kapstadt gearbeitet. Sie kam mit dem Eindruck zurück, dass das Leben in Südafrika langsamer verläuft: „Das Verständnis von schnell und stressig hat mich öfter amüsiert. Südafrikaner haben eine gelasseneren Auffassung von Zeit und nutzen sie anders, sie ‚hängen gerne ab‘. Das hat wohl auch damit zu tun, dass es weniger Regeln und Vorgaben gibt als bei uns, viel Sonne und das Meer.“

Wenn Zeit als kostbare Ressource gilt, wird Zeit zu verlieren oder gar zu vergeuden zum Vorwurf. „Ich habe keine Zeit“ ist ein oft gehörter Schlachtruf. Zum einen signalisiert

er, gefragt und sehr beschäftigt zu sein – aber auch zunehmend das Gefühl der Überforderung und zu wenig Zeit für sich selbst zu haben. Und jemandem „Zeit zu schenken“ ist kostbar.

Fremdbestimmt – oder „frei“?

Unser Alltag teilt sich in der Regel in drei Phasen: die fremdbestimmte Zeit, die man an der Schule, in der Uni, bei der Arbeit und im Haushalt verbringt, die Zeit, die man für lebensnotwendige Tätigkeiten wie Essen und Schlafen braucht – die aber durchaus als Genuss erlebt werden können – und die Zeit, über die man frei bestimmen kann. Freizeit wird als starker Kontrast zur Arbeitszeit gesehen.

„Das war nicht immer so“, betont der Literaturwissenschaftler Profes-

sor Dr. Jürgen Fohrmann. „Bis zum späten 18. Jahrhundert lebte und arbeitete man zum Beispiel als Handwerkerfamilie unter einem Dach. Erst mit der Industrialisierung, dem aus-dem-Haus-gehen zur Arbeit, kam die Abgrenzung.“

Freizeithektik versus Erholung

Ein anerkannter Zweig der Soziologie widmet sich schon seit langem dem Feld Arbeit und Freizeit, heute verstärkt im Rahmen der Lebensstilforschung. Dr. Doris Lucke, apl. Professorin für Soziologie, hat mit dem Thema Zeit beim letzten Dies academicus viele Zuhörer angezogen. „In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war die von Verpflichtungen freie Zeit überwiegend Erholung oder diente der Wiederherstellung der Arbeitskraft“, sagt sie. „Im wachsenden Wohlstand der 60-er und 70-er Jahre wurde sie mehr und mehr zur sozialen Selbstdarstellung. Das war die Phase, in der man zum Beispiel nach Italien reiste oder einem Tennisclub angehörte. Als diese Reiseziele oder bestimmte Sportarten populärer wurden, suchte man sich etwas Anderes, noch Exklusiveres. In der Folge nahm das ‚immer mehr, immer weiter, immer auffälliger‘ schon geradezu hektische Formen an. Heute drückt sich das steigende Bedürfnis nach innerer Ruhe und Muße, nach persönlicher ‚Entschleunigung‘ und Pflege der Gesundheit auch im Wellnessboom aus.“ Zum Thema freie Zeit sieht die Soziologin durchaus auch einen Unterschied zwischen Männern und Frauen: „Die ist bei Frauen trotz des Typs ‚neuer Mann‘, der auch im Haushalt etwas mit anfasst, eingeschränkter. Männer übernehmen eher solche Tätigkeiten, die nach außen signalisieren: Ich tue was.“

Pflichten organisieren

„Wenn ich gefragt werde: Hast Du kurz Zeit? sage ich schon mal: Eigentlich nicht, aber ich nehme sie mir“, meint Professor Bröder. „Das ist das Thema Zeitmanagement: Wenn ich bestimmte Prinzipien aufstelle und unterscheide, was wirklich wichtig ist und was ‚nur‘ dringend, lässt man sich nicht dauernd aus dem Tritt bringen. Natürlich gibt es Zwänge von außen. Und

um Zeit zu sparen, muss man erstmal Zeit investieren – aber für das Gefühl, dann mehr Kontrolle zu haben und selbst zu bestimmen, lohnt sich das.“

Moderne Medien ermöglichen vorher nie gekannten, faszinierend schnellen Nachrichten- und Datenaustausch und optimale Erreichbarkeit – aber die damit verbundene Erwartung schneller Reaktion trägt zu Unruhe und Stress bei. Man wird häufig bei dem unterbrochen, was man gerade tut. „Mit E-Mail- und Internet-fähigen Handys dreht sich das Rad noch schneller“, sagt der Psychologe. „Hier kommen Kommunikationskultur und unausgesprochene Regeln ins Spiel: Was wird erwartet und wie geht man damit um? Darüber muss man reden.“ Bereitschaft sei Dienst – wird erwartet, dass man generell auch in Pausen erreichbar ist, unterlaufe man das.

Gefühlte Zeit

Ein Tag hat 24 Stunden, eine Stunde 60 Minuten und die 60 Sekunden. So sagt es die Uhr – und bei Terminen wie bei vielen sportlichen Leistungen spielt sie die entscheidende Rolle. Wie aber Menschen Zeiträume empfinden, kann subjektiv ganz anders sein.

„Die Wahrnehmungspsychologie kennt das Weber’sche Gesetz zum wahrgenommenen Unterschied zwischen Reizen“, erzählt Professor Bröder. „Wenn man zum Beispiel in einem dunklen Raum zu einer Kerze eine zweite anzündet, wird es deutlich heller. Wenn schon hundert Kerzen brennen und man nimmt eine dazu, wird man den Unterschied nicht merken.“ Ähnlich wie mit den Kerzen ist es mit den Jahren: Sind schon viele da, fällt ein weiteres kaum auf. Die Zeit im Alter scheint daher zu rasen, denn es braucht immer größere tatsächliche Unterschiede, bis wir sie auch als vergangene Zeit empfinden. Ein ereignisreicher Zeitraum erscheint uns, während wir ihn erleben, kurz, er vergeht „wie im Flug“. Auf etwas

zu warten, ohne dass etwas passiert, kann man als sehr lang empfinden. Bröder kennt den Spruch „watched water never boils“; besser ist, zwischendurch etwas anderes zu machen. Das ersehnte Ereignis selbst scheint dann ebenfalls oft ganz schnell vorbei – wie das freie Wochenende nach einer Arbeitswoche.

„Im Rückblick allerdings ist es umgekehrt“, weiß der Psychologe. „Hat man viel erlebt, gelernt und viele Eindrücke gespeichert, wird das als lange Zeiteinheit empfunden. So scheint die Zeit der Jugend auch langsamer vergangen zu sein. Ältere Leute erleben und verarbeiten seltener Neues, bekannte Routine lässt ihnen in der Erinnerung die letzten Jahre schneller vergehen. Dies verstärkt den Eindruck der fliehenden Zeit im Alter.“

„Ein gestörtes Zeitgefühl kann oft auch Ausdruck psychischer Erkrankungen sein“, weiß Professor Dr. Thomas Schläpfer von der Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie. „Patienten mit Depressionen berichten oft, dass ihnen der Tag endlos lang erscheint und ihr Leiden sich so noch vergrößert. Bei einer Manie ‚fliegt‘ die Zeit nicht nur in besonders krasser Form, sondern die Patienten sind auch hektisch in ihren Bewegungen, in Gestik und Mimik, sie sprechen schnell.“ Behandeln lässt sich beides psychotherapeutisch und pharmakologisch, aber auch hier spielt die





Foto: ft

▲ **Nach dem Trend zu immer exotischeren Freizeitvergnügungen stehen heute Entspannung und „Entschleunigung“ mehr und mehr im Kurs.**

Zeit eine Rolle: Obwohl bei Depressionen erste Therapieerfolge schneller sichtbar sind, können auch diese drei bis vier Wochen den Patienten sehr lang vorkommen.

Schlafenszeit

Die Chronobiologie hat die volkstümlichen Begriffe der Eulen – spät zu Bett und spät auf – und der Lerchen – früh zu Bett und früh auf – geprägt. „Umerziehen ist so gut wie ausgeschlossen. Das wiederum heißt, dass ein großer Teil der Bevölkerung gegen die eigenen Anlagen leben muss“, sagt Dr. Ursula Voss, Privatdozentin für Psychologie, und schmunzelt: „Ich selbst gehöre auch dazu.“ Umerziehung ist zwecklos – aber entwicklungsbedingte Veränderungen treten zum Beispiel während der Pubertät ein. Davor sind viele Schüler eher Eulen und sitzen morgens dann müde im Unterricht.

Dazwischen gibt es viele weitere Formen: die Kurz- und die Langschläfer sowie Menschen, die unfähig sind, am Tag zu schlafen und damit als Schichtarbeiter ein massives Problem hätten. Licht hat darauf tatsächlich Einfluss: Im Sommer schlafen wir bedingt durch den erhöhten Lichteinfall eher weniger, im Winter mehr. Da in der Ruhephase die Biorhythmen synchronisiert werden, sie sich reorganisieren und rekonstituieren können, ist

Foto: uk

guter Schlaf ausgesprochen wichtig. Versuche mit Probanden in neutralen Räumen ohne Tag und Nacht zeigen eine veränderte Zeitwahrnehmung: „Im ‚Bunker‘ scheinen die Tage länger, zwischen 26 und 33 Stunden“, sagt Dr. Voss. „Das Verhältnis von Schlaf- zu Wachzeit verändert sich allerdings kaum. Die Probanden – außer denen, die auch sonst mit weniger Ruhestunden auskommen – schlafen wie gewohnt etwa ein Drittel der Zeit.“

Genau genommen veränderte die Erfindung der großräumigen künstlichen Beleuchtung, die anders als Lagerfeuer oder Kerzenschein wirklich die Nacht zum Tag machte, den natürlichen Lebensrhythmus der Menschen. Schichtarbeit und Langstreckenflüge, ob mit oder gegen die MEZ, stören die innere Uhr: Stoff-

wechsel- und Kreislaufschwankungen, eine Störung des Schlaf-Wach-Rhythmus beeinflussen die Konzentrationsfähigkeit nachhaltig, ein „Jetlag“ wird nur langsam wieder abgebaut. Davon abgesehen ist trotz künstlicher Beleuchtung die Jahreszeit der kurzen Tage für viele Menschen ein Problem: „Der Mangel an natürlichem Licht im Winter führt bei dafür anfälligen Menschen zur bekannten Winterdepression“, bestätigt Professor Schläpfer. So beklagt mancher schon am Nachmittag „gefühlte 22 Uhr“, und empfindet einen Verlust an Zeit und Energie.

Biologische Rhythmen reichen von Millisekunden im Stoffwechselfereich bis zum Jahr, zum Beispiel dem Winterschlaf von Tieren oder eben der „Winterdepression“ bei Menschen. So ist es nachvollziehbar, dass auch die Wirksamkeit und erforderliche Höhe der Konzentration von Arzneien abhängig von der Tageszeit sein kann, wann sie verabreicht werden. Dazu ist derzeit ein eigener Forschungsbereich entstanden. Wer allerdings von dem ganzen Stress Kopfschmerzen bekommt, hat es relativ einfach: Die Tageszeit ist egal, wirksamer ist die Tablette auf nüchternen Magen – aber verträglicher nach einem kleinen Imbiss. Oder man versucht es erst mit einem kleinen Spaziergang, einer „Aus-Zeit“.

UK/FORSCH



... Professor Dr. Armin Falk, Experimentelle Wirtschaftsforschung

Herr Professor Falk, einer Studie aus dem Jahr 2006 zufolge verbringen Deutsche viel weniger Zeit bei der Arbeit als US-Amerikaner. Manche Ökonomen sehen darin auch einen Grund für die hohe Arbeitslosigkeit hierzulande. Sind wir Deutschen zu faul?

Einen ökonomischen Grundsatz „es ist schlecht, wenig zu arbeiten“ gibt es nicht. Im Gegenteil, es ist ganz legitim, sein Glück woanders zu suchen. Die meisten Menschen leben schließlich nicht, um zu arbeiten, sondern arbeiten, um zu leben. Auch wenn es in dieser Hinsicht kulturelle Unterschiede geben mag.

Solange wir produktiver sind als andere, können wir uns auch mehr Freizeit leisten. Im Zuge der Globalisierung sehen wir uns aber heute in zunehmender Konkurrenz zu anderen Ländern; unsere Produktivitätsvorteile gehen verloren. Und das müssen wir durch höhere Arbeitsleistung wieder kompensieren – insofern würde ich einem Zusammenhang zwischen Arbeitszeit und Beschäftigungsquote also durchaus zustimmen.

Andererseits klagen viele Arbeitnehmer aber schon heute über zunehmende Belastung im Job – zu Recht?

Die Anforderungen an die Arbeitnehmer, mobil und flexibel zu sein, sind heute sicher größer als vor zwanzig Jahren. Dazu kommt die zunehmende Angst, seine Arbeit zu verlieren. Das alles erzeugt einen ungesunden Stress – das ist übrigens auch ein Ausfluss der Globalisierung. In diesem Sinne würde ich sagen: Viele klagen zu Recht.

Allerdings müssen wir uns auch die Frage stellen, ob es uns heute nicht viel besser geht als fast allen Generationen vor uns oder auch vielen anderen Ländern heute. Wenn man be-

denkt, dass in Afrika Jahr für Jahr Hunderttausende von Kindern an Malaria sterben, verliert die Frage, ob wir nun 38,5 oder 41 Stunden arbeiten, an Gewicht.

Wie beurteilen Sie in diesem Zusammenhang flexible Arbeitszeit-Modelle? Also beispielsweise die Möglichkeit, Teilzeit zu arbeiten oder ein Sabbatjahr zu nehmen?

Ich habe ja lange in der Schweiz gelebt, wo es sehr weit reichende Möglichkeiten gibt, seine Arbeitszeit frei zu gestalten. Es ist natürlich eine gute Sache, wenn ich sagen kann: Mir genügt eine Drittelstelle, mehr mache ich nicht. Der deutsche Arbeitsmarkt tut sich damit aus meiner Sicht noch zu schwer.

Andererseits ist Flexibilität ohne einen festen Rahmen eine zweiseitige Sache: Man kann vielleicht früher gehen, muss dafür aber auch am Wochenende erreichbar sein. Dann kommen am Sonntag Freunde zu Besuch, die beim Kuchen immer wieder auf dem Blackberry ihre Mails abrufen. Sieht zunächst toll und flexibel aus, ist aber auf den zweiten Blick eine Art moderner Versklavung. Dabei sind echte Auszeiten, Zeit zur Besinnung

für wahre Kreativität und Produktivität wichtig.

Oder die Firma schickt ihren Mitarbeiter für ein Jahr nach Singapur. Das mag spannend sein, verursacht aber auch Probleme: Der Aufbau von Freundschaften, die Familie, auch die Bereitschaft, sich gesellschaftlich zu engagieren – das alles braucht Stabilität. Ökonomen neigen dazu, diese „Kosten“ der Flexibilität zu unterschätzen. Wir laufen Gefahr, den sozialen Kit zu verlieren, der die Gesellschaft zusammen hält.

In vielen Branchen gibt es momentan keine großen finanziellen Spielräume. Welche Möglichkeiten haben Unternehmen abgesehen von höheren Löhnen, die Motivation ihrer Mitarbeiter zu steigern?

Vielleicht sind die Spielräume manchmal größer, als die Firmen uns glauben machen... Aber natürlich sind nicht-monetäre Anreize extrem wichtig, manchmal sogar wichtiger als Geld: Persönliche Anerkennung beispielsweise, und damit meine ich den ernst gemeinten Dank für gute Leistungen. Vertrauen in die Mitarbeiter, sie also mit Vollmachten und Verantwortung auszustatten. Fairness im Umgang. Transparenz und Information – wenn die Gerüchteküche brodelt, ist das extrem unproduktiv. Und nicht zuletzt: eine gepflegte Arbeitsumgebung! Ein schneller neuer Computer, ein heller Arbeitsplatz, ein freundliches Büro – das alles kann sehr motivierend sein.

Wie verbringen Sie am liebsten Ihre Freizeit?

Mit meiner Familie – und mit ein paar Ideen für neue Projekte. Ich bin Forscher aus Leidenschaft und denke oft auch im Alltag über sozialwissenschaftliche Fragen nach.



Foto: Dominik Fritz

Fotos: Dr. Torsten Wappler



Zahn der Zeit

Die Grube Messel nahe Darmstadt hat sich bislang vor allem durch hervorragend erhaltene Urfeldchen-Reste oder meterlange Krokodilfossilien einen Namen gemacht. Die meisten Funde sind jedoch viel unscheinbarer – zumindest auf den ersten Blick. Beim genaueren Hinschauen erlauben sie nämlich oft einen intimen Einblick in ökologische Zusammenhänge im Eozän.

Das Blatt links stammt von einem Citrusgewächs der Gattung *Toddalia*. Seine Nachfahren setzen sich heute unter anderem durch die Produktion giftiger Substanzen gegen Insektenfraß zur Wehr. Im Fossil ist aber schwach eine schlauchartige Struktur zu erkennen (Ausschnittsvergrößerung): Der Gang einer Minierfliege, dessen Larve sich vor 47 Millionen Jahren durch das Blatt gefressen hat. „Augenscheinlich konnte sich die Pflanze damals noch nicht ausreichend gegen die Minierfliege

zur Wehr setzen“, erklärt der Bonner Paläontologe Dr. Torsten Wappler. Ihr schützendes Waffenarsenal entwickelte sich demnach eventuell erst nach dieser uralten Momentaufnahme.

Bei der Untersuchung fossiler Blätter gelang Wappler und seiner Kollegin Dr. Sonja Wedmann auch ein weiterer unerwarteter Fund (Bild oben): Das halbkreisförmige „Bissmuster“ stammt mit großer Wahrscheinlichkeit von einer Blattschneiderbiene. Hinweise auf dieses Insekt hatte man in Deutschland bis dahin vergeblich gesucht. Inzwischen konnte Sonja Wedmann im Messeler Ölschiefer sogar ein Fossil des Tieres finden. „Messel ermöglicht einen Vergleich zwischen Fraßspuren und Körperfossilien, der weltweit sicher seines Gleichen sucht“, betont die Forscherin. Die Projekte beider Postdoktoranden werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

FL/FORSCH



► Ultragenaueres Klimaarchiv:

Am Grund des türkischen Van-Sees ruht eine mehrere hundert Meter dicke Schlammschicht. Für Klimaforscher ist diese unansehnliche Masse Gold wert: Sommer für Sommer hat sich dort Pollen aus längst vergangenen Tagen abgelagert. Bis auf's Jahr genau lässt sich an ihm ablesen, welche klimatischen Bedingungen beispielsweise zu Zeiten des Neanderthalers herrschten. Eine

halbe Million Jahre zurück könnte dieses Archiv reichen. Nun will ein internationales Forscherteam unter Leitung des Bonner Paläontologen Professor Dr. Thomas Litt diesen Schatz heben. Voruntersuchungen waren schon ein voller Erfolg: So konnten die Wissenschaftler zeigen, dass sich das Klima seit der letzten Eiszeit mitunter sehr kurzfristig verändert hat – manchmal innerhalb von zehn oder zwanzig Jahren. Ein Kurzvideo zum Vansee-Projekt gibt's im Internet unter [http://](http://www.tv15.de)

www.tv15.de >> Production >> Universität Bonn.

► Keuschheitsgürtel gegen „Kuckuckskinder“:

Dass weibliche Wespen spinnen zahlreiche Sexualkontakte haben, können ihre männlichen Artgenossen nicht verhindern. Wohl aber, dass aus diesen Tête-à-têtes mit den Rivalen Kinder hervorgehen: Die Spinnenmänner legen ihrer Partnerin bei der Begattung einfach einen Keuschheitsgürtel an. Die Spitze ihres Geni-



Gefährliche Würmer

Parasiten treiben Krebse in den Selbstmord

Biologen der Universität Bonn sind einem trickreichen Parasiten auf die Spur gekommen. Der Wurm befällt zunächst Flohkrebse, kann sich dort aber nur bis zum Larvenstadium entwickeln. Die Larve programmiert ihren Wirt jedoch um: Der infizierte Krebs weicht räuberischen Fischen plötzlich nicht mehr aus, sondern schwimmt ihnen quasi ins Maul. Im Fisch entwickelt sich dann aus der Wurmlarve ein geschlechtsreifes Tier.

Der Wurm, der Flohkrebse in den Selbstmord treibt, hört auf den zungenbrecherischen Namen *Pomphorhynchus laevis*, abgekürzt *P. laevis*. Wie bei vielen anderen Parasiten vollzieht sich sein Leben in zwei Stadien: Die Larve benötigt für ihre Entwicklung den Bachflohkrebs. Nur in Fischen wie dem Flussbarsch kann sie aber zum geschlechtsreifen Wurm heranwachsen. Der Schmarotzer muss also den Wirt wechseln, will er sich vermehren. Die Kunst ist es, das möglichst effizient zu tun.

Dazu hat sich *P. laevis* einen gemeinen Trick einfallen lassen: Er programmiert den Flohkrebs so um, dass der sein Verhalten ändert. „Infizierte Bachflohkrebse gehen gefräßigen Fischen nicht mehr aus dem Weg, sondern schwimmen ihnen sogar entgegen“, erklärt der Bonner Evolutionsbiologe Sebastian Baldauf. Resultat: Der Flussbarsch frisst den Krebs samt Wurmlarve, die Larve entwickelt sich zum er-

wachsenen Wurm, der Fisch scheidet mit seinem Kot Wurmeier ins Wasser aus, diese werden von Flohkrebsen gefressen. Damit schließt sich der Kreis.

Bachflohkrebse können sehen, verfügen aber auch über einen empfindlichen Geruchssinn. Um zu sehen, welchen dieser Sinne *P. laevis* umprogrammiert, haben sich Baldauf und seine Kollegen verschiedene Versuchsanordnungen einfallen lassen. Dazu setzten sie infizierte und gesunde Krebse auf den Grund eines Aquariums und spannten darüber ein feinmaschiges Netz. Das Becken oberhalb des Netzes trennten sie mit einer Wand in zwei Teile. „Wenn wir nun in eines dieser Teilbecken einen Flussbarsch setzten, schwammen die infizierten Krebse zu seiner Seite“, sagt Sebastian Baldauf. „Die gesunden Tiere zogen sich dagegen in die andere Hälfte des Aquariums zurück.“

Nun wiederholten die Forscher den Versuch. Statt den Barsch in

eine Beckenhälfte zu setzen, gossen sie aber nur ein wenig Wasser hinzu, in dem sich der Fisch vorher aufgehalten hatte. Wieder beobachteten sie dasselbe Bild: Plötzlich mieden die gesunden Flohkrebse diese Hälfte. Die kranken Tiere fühlten sich von ihr dagegen magisch angezogen. „*P. laevis* scheint also die Verarbeitung der Geruchsreize in den Krebsen umzukehren“, interpretiert Baldauf die Ergebnisse. „Der Sehsinn bleibt dagegen unbeeinflusst, wie wir in anderen Experimenten feststellen konnten.“ Möglicherweise verändert der Schmarotzer die Ausschüttung des Neurotransmitters Serotonin, was die Signalverarbeitung im Krebsgehirn verändern könnte.

Parasiten, die auf einen Wirtswechsel angewiesen sind, haben dafür oft ausgefeilte Strategien entwickelt. Nicht immer ändern sie das Verhalten ihres Zwischenwirts. Manchmal sabotieren sie auch einfach seine Tarnung, so dass er schneller gefressen wird. „Ein schönes Beispiel liefert der Saugwurm, dessen Jungstadien sich in Bernsteinschnecken entwickeln“, erklärt Sebastian Baldauf. Schließlich dringen die Saugwurmlarven in die Fühler der Schnecke ein und verwandeln sie in farbenfroh geringelte pulsierende Fortsätze. Endwirt ist in diesem Fall die Wassermuschel. Die sieht die auffälligen Fühler und frisst sie samt ihrem infektiösen Inhalt auf.

FL/FORSCH

▼ **Buntbarsch-Pärchen an der Bruthöhle**

tals bricht nämlich beim Verkehr ab und verstopft die Geschlechtsöffnung der Spinnen-Dame. Biologen der Universitäten Bonn und Hamburg haben diesen verblüffenden Mechanismus aufgedeckt.

► **Geschwisterliebe hilft Nachwuchs:** In fast allen menschlichen Kulturen ist Inzucht tabu. Nicht so bei manchen Buntbarschen: Lässt man ihnen die Wahl zwischen einem nicht verwandten Artgenossen und einem Familienmit-

glied, paaren sie sich weit häufiger mit Bruder oder Schwester. Das haben Evolutionsbiologen der Universität Bonn in einer aktuellen Studie festgestellt. Die Forscher konnten keine Hinweise dafür finden, dass die Geschwisterliebe unter Buntbarschen beim Nachwuchs zu genetischen Komplikationen führt. Stattdessen arbeiten verwandte Eltern bei der Aufzucht der Kinder besser zusammen. Die Forscher vermuten, dass ihre Beobachtungen auch für andere Arten zutreffen könnten.



Foto: Dr. Harald Kullmann

„Witwenland“ im Focus

Bonner Forscher erhalten 387.000 Euro für Projekt in Ostafrika

Mit der nachhaltigen und umweltgerechten Nutzung von Feuchtgebieten beschäftigt sich ein neues Forschungsvorhaben, das von der Volkswagenstiftung mit fast 400.000 Euro unterstützt wird. Das Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz koordiniert das Projekt gemeinsam mit Forschern aus Berlin, Kenia und Tansania.

Beinahe ungenutzt und wenig erforscht sind die Feuchtgebiete in Ostafrika, die alleine in Tansania und Kenia etwa 12 Millionen Hektar umfassen. Dabei übernehmen die saisonal überfluteten Gebiete wichtige Funktionen als Speicher für Wasser und Kohlenstoff. Außerdem beherbergen sie viele Arten, die sonst nirgendwo vorkommen. Häufig erachten einheimische Stämme die Flächen als minderwertig und geben sie beispielsweise an Witwen ab, die das Land für den landwirtschaftlichen Eigenbedarf nutzen.

Durch das große Bevölkerungswachstum in Afrika kommt es heute jedoch zu einer immer intensiveren Bewirtschaftung der Feuchtgebiete, um die wachsenden städtischen Märkte mit Nahrungsmitteln zu versorgen. Gerade die Zentren der Gebiete eignen sich für den Anbau von Reis, während an den trockeneren Rändern Gemüse wächst. Aber auch

die internationale Schnittblumenindustrie hat die „Wetlands“ für sich entdeckt und nutzt sie zum großflächigen Anbau. „Die demographischen und ökonomischen Entwicklungen verstärken zunehmend den Druck auf diese Gebiete“, erklärt Professor Dr. Mathias Becker vom Bonner Institut für Nutzpflanzenwirtschaft und Ressourcenschutz, der das Projekt koordiniert. „Dadurch kommt es zu Konflikten, diese Tendenz mit den ökologischen und sozialen Funktionen in Einklang zu bringen.“ Ziel des Projektes ist es, Konzepte zu entwickeln, die die Vielfalt des Gebietes als Ökosystem und die veränderten Rah-

menbedingungen der Nutzung berücksichtigen. „Bislang gibt es noch keine konkreten Handlungsoptionen, wie sich die notwendige Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion mit den Vorgaben der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes vereinbaren lässt“, erläutert Becker. Zu Beginn wollen die Forscher vor Ort die Größe der einzelnen Feuchtgebiete messen, ihren Artenreichtum erfassen, Wasser- und Nährstoffflüsse feststellen und das landwirtschaftliche Nutzungspotenzial der Fläche bestimmen. Anhand dieser Daten wählen die Wissenschaftler die repräsentativsten Feuchtgebiete aus und erstellen ein umfangreiches Modell zur sinnvollen und umweltgerechten Nutzung.

„Wir möchten mit unserer Arbeit vor allem Entscheidungshilfen geben und verdeutlichen, wie wertvoll diese Flächen sind“, sagt Becker. „Die Förderung durch die Volkswagenstiftung zeigt uns, dass wir im richtigen Trend liegen. Denn obwohl die Feuchtgebiete bislang als Stiefkinder der Agrarforschung betrachtet wurden, beschäftigen wir uns mit dem Thema schon seit langer Zeit.“

MONIKA LANG / FORSCH



Foto: Prof. Becker

► Ungewöhnlicher Fund im Uferbereich eines bewirtschafteten Feuchtgebietes.

► **Zettelwirtschaft hat ein Ende:** Über 850.000 Zettel benötigte der siebenbürgische Pfarrer Friedrich Krauß, um in rund 60 Jahren den Wortschatz der Sprache seiner Heimat zu sammeln. Als er 1978 verstarb, ging sein Nachlass an das Institut für Geschichtliche Landeskunde der Universität Bonn. Dort begann im Jahr 1980 die Arbeit an einem Nord-siebenbürgisch-Sächsischen Wörterbuch (NSSWB), gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Jetzt wurde das umfangreiche Werk mit dem fünften Band fertig gestellt.

Steht früh morgens unerwarteter Besuch vor der Tür des Nordsiebenbürger-Sachsen, dann struckelt die Drimzochel und hofft, dass sie nicht wie eine Strubbelente aussieht. Auf Hoch-

deutsch: Die Schlafmütze zieht sich hastig etwas an und ordnet gegebenenfalls noch schnell ihr Haar. Die mittelfränkischen Mundarten Siebenbürgens besitzen vorrangig Merkmale aus der westlichen Moselregion um Trier und Luxemburg, zeigen aber auch jüngere ostmitteldeutsche und bairische Elemente sowie Einflüsse aus dem Österreichischen, Ungarischen und Rumänischen.

Bereits im 13. Jahrhundert kamen die ersten Siedler nach Siebenbürgen, vom ungarischen König zur Kultivierung des Landes im Karpatenbogen geholt. In den folgenden Jahrhunderten entwickelten die „Sachsen“ eine blühende Sprachkultur. Ansiedlung und Abwanderung nach dem

2. Weltkrieg und besonders nach der „Wende“ 1990 haben den Anteil der Deutschsprachigen in Siebenbürgen sehr stark dezimiert. Die älteste deutsche Sprachinsel mit ihren Mundarten ist vom Untergang bedroht.

Nicht nur der Sprache, sondern auch dem nordsiebenbürgischen Kulturgut kann man im NSSWB in fünf Bänden mit 4.500 Seiten auf die Spur kommen: Neben Wortformen und Satzbeispielen liefert es zahlreiche Verweise auf volkskundliche, handwerkliche und redensartliche Eigenheiten. Sprachgeschichtliche Einblicke und kulturhistorische Details kompletieren die lexikalische Dokumentation der traditionsreichen Sprachinsel.

SARAH SCHNEIDER / FORSCH

Flugzeugsteuerung per Fingerzeig

Neue Technik macht Datenhandschuh überflüssig

Forscher der Universität Bonn haben Computern beigebracht, auf Handbewegungen zu reagieren. Die Methode ist extrem schnell und robust: Sie funktioniert mit Kinderpatschen genauso wie mit Maurerpranken. Das Verfahren könnte die Steuerung von 3D-Anwendungen revolutionieren.

Was stört, ist der rote Kragen. Sonst könnte man Markus Schlattmann mit seinen dunklen Klamotten und der schwarzen Brille für einen der „Men in Black“ halten. Vor allem, wenn er wie jetzt seine Hand zur Pistole formt.

Der Informatiker spielt aber nicht etwa „Räuber und Gendarm“: Durch einfache Schlenker seiner Hand steuert er ein virtuelles Flugzeug durch die Alpen. Eine lässige Drehung aus dem Handgelenk, schon kippt der Horizont zur Seite. Nun knickt Schlattmann das Handgelenk nach unten. Brav nickt die Flugzeugnase gen Erdboden. Knapp über dem Zugspitzblatt fängt er den Flieger ab. Kurz geht es an schneebedeckten Felswänden entlang, dann zieht er die Maschine wieder steil zur Seite.

Bei Zuschauern ohne stabilen Magen kann sich nach mehreren solcher Schwenks eine leichte Übelkeit bemerkbar machen. Was auch an den realistischen dreidimensionalen Bildern des Kooperationspartners RSS GmbH liegen mag. Die 3D-Brille trägt das ihre zum naturgetreuen Eindruck bei.

„Handtracking“ nennen die Mitarbeiter aus der Arbeitsgruppe Computergrafik der Uni Bonn ihr Verfahren: Drei Kameras verfolgen die Stellung der Finger, ein Rechner setzt die Bewegungen in Steuerbefehle um. „Das Ganze geht präzise, schnell und intuitiv“, sagt Schlattmann. Er legt den Daumen auf den Zeigefinger; auf dem Projektionschirm materialisieren sich ein paar zusätzliche Symbole. Der Informatiker klickt mit seinem Zeigefinger auf ein Kreuz, und das Fenster mit der Alpenlandschaft verschwindet. Die Leinwand wird schwarz: Demonstration beendet.

„Das Besondere an unserem Verfahren ist, dass wir ohne externe Hilfsmittel auskommen“, erklärt Schlattmanns Kollege Ferenc Kahlesz: „Um Handbewegungen in Echtzeit mit großer Genauigkeit verfolgen zu können, muss man normalerweise zumindest die Finger farblich markieren, damit sich die Software leichter orientieren

seine Hand in einer definierten Position an eine bestimmte Stelle zu legen.“

Zum Spielen ist die neue Methode übrigens nicht primär gedacht – auch wenn sich damit aus Sicht der Informatiker auch Playstation oder X-Box viel intuitiver steuern ließen als bislang. „Wir entwickeln in einem EU-Projekt möglichst natürli-



◀ Markus Schlattmann durchfliegt die Alpen

Foto: R

kann. Oder man braucht dazu einen Datenhandschuh, der die Gelenkstellung per Funk oder Kabel an den Rechner meldet.“ Mit einem einzigen Handschuh ist es zudem oft nicht getan; schließlich haben die Nutzer unterschiedlich große Hände. Das Bonner Verfahren ist flexibler: Egal ob Kinderpatsche oder Maurerpranke, die Kameras erkennen genau, in welche Richtung der Benutzer gerade zeigt und wie seine Handfläche geneigt ist.

Grafikkarte übernimmt das Rechnen

„Zudem nutzen wir gar keine außergewöhnliche Technik“, beteuert Schlattmann. „Die meiste Rechenarbeit erledigt die Grafikkarte.“ Und die sei auch kein anderes Modell, als heute bei schnellen Rechnern von Haus aus dabei sei. Ein weiterer Vorteil: Man muss das Verfahren nicht initialisieren. Sobald die Hand im Blickfeld der Kameras auftaucht, legt die Tracking-Software los. Bei anderen Methoden wird der Nutzer bei Programmstart aufgefordert,

che Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine“, sagt Professor Dr. Reinhard Klein. Der Wissenschaftler leitet am Bonner Institut für Informatik II die Arbeitsgruppe „Computer Graphik“. „Unsere Partner bauen dazu beispielsweise einen 3D-Bildschirm, der ohne Brillen oder ähnliche Hilfsmittel funktioniert.“

Interesse an intuitiven und flexiblen Eingabegeräten kommt beispielsweise aus der Medizin. So in der Computertomographie: Hier fallen immense Datenmengen an, aus denen Grafikprogramme detaillierte dreidimensionale Bilder erzeugen. Mit der Software ist es zum Beispiel auch möglich, sich durch das Gehirn zu einem Tumor zu navigieren, ihn aus allen Blickwinkeln zu betrachten oder umliegendes Gewebe auszublenden, das den Blick auf den Krankheitsherd stört. „Eine herkömmliche Maus ist für derartige 3D-Anwendungen aber nur schlecht geeignet“, betont Markus Schlattmann. „Mit einem guten Handtracking-Verfahren geht das viel einfacher und natürlicher!“

FL/FORSCH

Die schnellen Simulanten

Wie die Numerische Mathematik große Probleme klein kriegt

Es gibt Probleme, die wünscht man seinem ärgsten Feind nicht. Zum Beispiel berechnen zu müssen, wie eine Welle bricht. Wer's ganz exakt haben will, ist damit ganz schön lange beschäftigt. Oder man macht's wie die Bonner Mathematiker: Mit ein paar schlaun Tricks – und Mut zur Ungenauigkeit.

Von einer Vorstellung verabschiedet man sich am Institut für Numerische Simulation ganz schnell: Dass Mathematik immer zum Ziel hat, die hundertprozentig korrekte Lösung zu finden. Die Bonner Forscher machen ständig Fehler – und lösen damit näherungsweise Probleme, die sich sonst gar nicht lösen ließen.

Das Beispiel mit der Welle ist ein solches Problem: Wie genau türmt sich das moderate Auf und Ab der Meeresoberfläche in Strandnähe zu einer beeindruckenden Wasserwand auf? Wann überschlägt sich die Welle? Und wie stört der Felsblock am Strand das heranbrandende Wasser? Um diese Fragen exakt zu beantworten, müsste man theoretisch den Bewegungsimpuls jedes einzelnen Wasserteilchens zu jeder beliebigen Zeit kennen – ein Ding der Unmöglichkeit. „Wir versuchen, mathematische Modelle für die Wirklichkeit so auf dem Computer umzusetzen, dass sie sich in angemessener Zeit zumindest näherungsweise lösen lassen“, erklärt Institutsleiter Professor Dr. Michael Griebel. Dazu wenden Griebel und seine Mitarbeiter eine Strategie an, die im Prinzip aus vier Teilen besteht: Diskretisieren, Lösen, Zerlegen und Verteilen, Vereinfachen.

Diskretisieren

Dieser Schritt hat nichts damit zu tun, dass Mathematiker besonders gut Ge-

heimnisse für sich behalten könnten. „Wir berechnen die Lösungen einer Gleichung nur an bestimmten diskreten Punkten“, erklärt Dr. Marc Alexander Schweitzer, einer der leitenden Mitarbeiter am Institut für Numerische Simulation. „Die Werte zwischen diesen Punkten erhalten wir dann beispielsweise durch Interpolation.“ Konkreter gesprochen: Wollen die Mathematiker die Ausbreitung einer Welle in einer Badewanne berechnen, schauen sie sich nicht den Bewegungsimpuls jedes einzelnen Wasserteilchens an. Sie legen stattdessen eine Art virtuelles dreidimensionales Netz in die Wanne und berechnen die Werte nur an den Knotenpunkten. In einer würfelförmigen Wanne von einem Meter Kantenlänge kämen sie so bei einer Maschenweite von 10 Zentimetern mit $10 \times 10 \times 10 = 1.000$ Datenpunkten aus. Bei einer Auflösung von einem Zentimeter wären es in jede Raumrichtung schon 100 Punkte, das sind insgesamt $100^3 =$ eine Million. Mit zunehmender Auflösung steigen also Speicherbedarf und Rechenzeit dramatisch an. Generell gilt: Der Diskretisierungsfehler ist umso größer, je gröber das Netz ist. In der Praxis geben die Mathematiker einen tolerierbaren Fehler vor und justieren danach die Auflösung ihres Verfahrens.

Manchmal reicht schon ein relativ grobes Netz, um die Werte zwischen den Knoten ziemlich gut abzuschätzen. Der Mathematiker sagt: Das Problem ist „glatt“ – ähnlich wie die Meeresoberfläche ein paar hundert Meter vor der Küste. Es genügt, wenn man ein paar Werte kennt; den Rest kann man einigermaßen gefahrlos interpolieren. Große Überraschungen sind nicht zu erwarten. „Glatte Probleme sind für Mathematiker jedoch wenig spannend“, sagt Professor Griebel. „Interessanter sind Anwendungen, in denen die Lösungen lokal unglatt wer-

den.“ Im Brandungsbereich wäre mit ein paar verstreuten Werten nichts mehr zu holen. Hier sind so genannte adaptive Rechenverfahren notwendig. Sie erkennen nicht-glatte Bereiche, indem sie zwischen den Knoten gewissermaßen Stichproben nehmen und sie mit den interpolierten Schätzwerten vergleichen. Bei unerwartet großen Abweichungen heißt es dann für den Algorithmus, die Maschen des Netzes dort lokal wesentlich enger zu knüpfen.

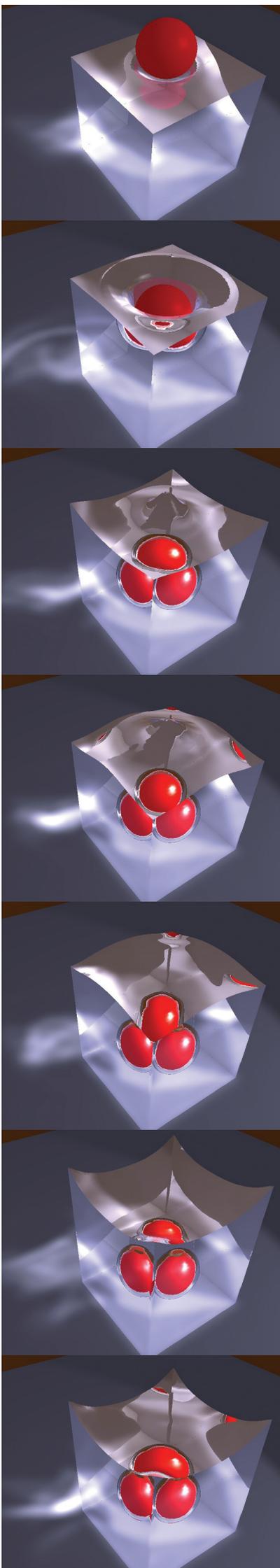
Lösen

Aber selbst 1.000 Knotenpunkte sind eine Herausforderung, die ohne Computer kaum zu stemmen wäre. In ein mathematisches Modell umgesetzt heißt das nämlich, eine Gleichung mit 1.000 Unbekannten zu lösen. Der große deutsche Mathematiker Carl Friedrich Gauß hat schon vor über 150 Jahren ein Verfahren vorgeschlagen, wie solche Gleichungen exakt zu lösen sind. „Unser Problem dabei: Diese Methode ist viel zu zeitraubend“, erklärt Marc Alexander Schweitzer.

Denn wenn sich die Zahl der Unbekannten verdoppelt, steigt beim klassischen Gauß-Verfahren der Rechenaufwand um den Faktor acht; bei einer Verzehnfachung um den Faktor 1.000. Die Methode ist von der Ordnung $O(n^3)$, sagen Mathematiker zu diesem tückischen Verhalten. Wie kritisch $O(n^3)$ ist, zeigt das Beispiel mit der Badewanne: Bei einer Maschenweite von 10 cm sind die Werte an 1.000 Knotenpunkten zu berechnen. Mal angenommen, der Computer benötigt dazu eine Sekunde. Will man nun die Maschenweite auf einen Zentimeter verkleinern, steigt die Zahl der Knoten (und damit der Unbekannten) um den Faktor 1.000 auf insgesamt eine Million. Der Rechner benötigt nun aber nicht etwa die tausendfache Zeit, also 17 Minuten: $O(n^3)$ bedeutet, dass die Berechnung erst nach der 1.000^3 -fachen Zeit ab-



Foto: Frank Homann





geschlossen ist. Erst nach 1000^3 Sekunden wäre die Software fertig – das sind knapp 32 Jahre. „In der Praxis sieht es nicht ganz so dramatisch aus, weil man meist eine schnellere Variante des klassischen Gauß-Verfahrens nutzen kann“, betont Griebel. „An dem generellen Problem ändert das aber nichts.“

Die Mathematiker kennen jedoch auch Algorithmen mit der Ordnung $O(n)$. „Das sind so genannte Mehrgitter-Verfahren, die die Lösung des Systems iterativ berechnen“, erklärt Schweitzer. Sie brauchen dazu sogar weniger als die oben genannten 17 Minuten – in der Praxis reichen zwei bis drei Minuten aus. Allerdings rechnen sie eben nicht exakt, sondern nur bis zu einer vorgegebenen Genauigkeit.

Zerlegen und verteilen

Natürlich lässt sich ein großes Problem auch mit entsprechend potenter Hardware erschlagen. Im Rechenraum des Instituts für Numerische Simulation steht ein großer Parallelrechner. Sein Herz bilden 512 Prozessoren, die parallel an ein und derselben Aufgabe arbeiten können. „Wir könnten beispielsweise unsere Badewanne in 512 gleich große Wannenteile zerlegen“, erläutert Professor Griebel. „Jeder Pro-

zessor ist dann für ein Teilgebiet zuständig; dementsprechend sinkt der Zeitaufwand für das schnelle Mehrgitter-Verfahren im Beispiel oben auf Bruchteile einer Sekunde.“ Oft führt eine solche statische Gebietszerlegung aber zu einem Lastungleichgewicht – etwa, wenn der Algorithmus im Brandungsbereich plötzlich mehr Punkte berechnen muss als auf hoher See. In der Regel merkt das Programm erst während der Rechnung, wo die „unglatten“ Bereiche sind. Dann muss es den Ressourceneinsatz im Laufe

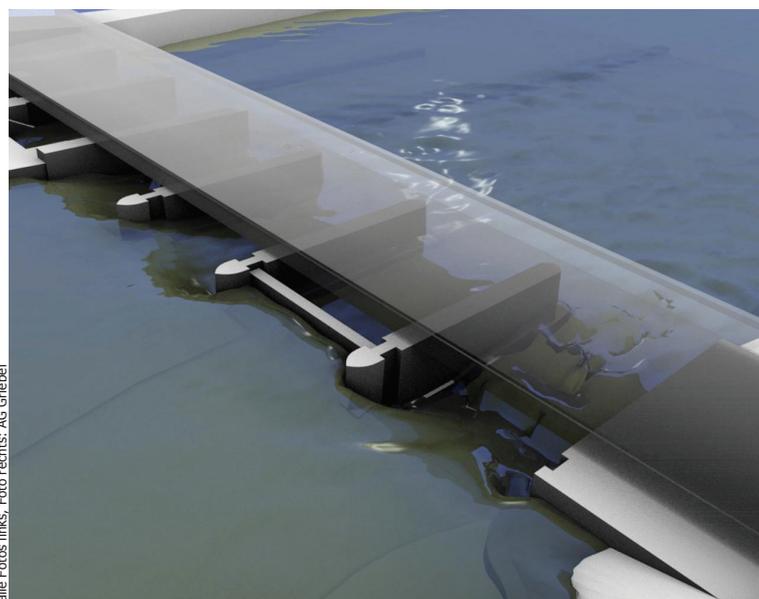
der Simulation flexibel anpassen, indem es unausgelasteten Prozessoren mehr Gebiet zuweist.

Vereinfachen oder der Fluch der Dimension

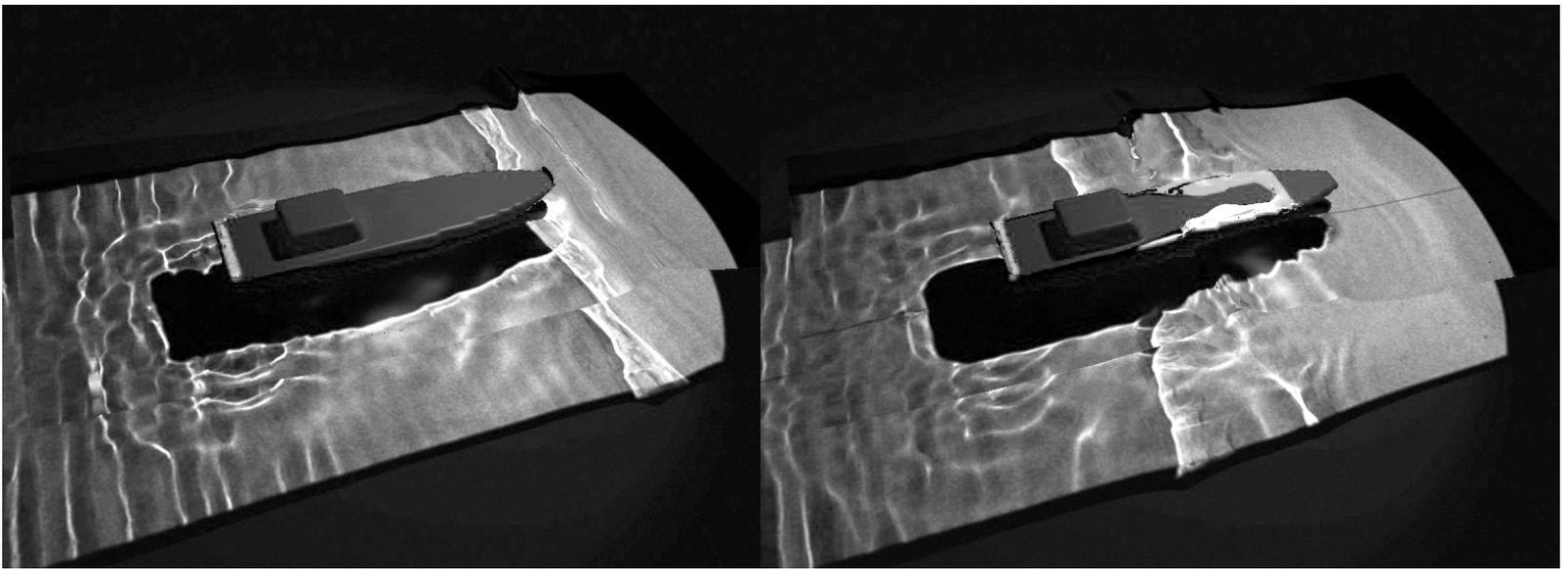
Physikalische Phänomene spielen sich in der Regel im dreidimensionalen Raum ab. Dazu kommt als vierte Dimension die Zeit, wenn man einen zeitabhängigen Prozess berechnen möchte. „Vor 20 Jahren war bei zweidimensionalen Problemen Schluss“, erklärt Griebel. „In-

▲ **512 Prozessoren machen dem Parallelrechner des Instituts Dampf. Das Bild zeigt (v.l.) hockend: Dr. Marc-Alexander Schweitzer, Prof. Dr. Michael Griebel, Bram Metsch, Martin Engel** stehend: **Dr. Thorsten Kleinjung, Prof. Dr. Jens Franke, Friedrich Bahr. Prof. Franke nutzt die geballte Rechenkraft z.B., um große Primzahlen zu „knacken“.**

◀ **Schleusen und Wehre (hier eine Simulation) sind die Nadelöhere der Wasserwege. Zusammen mit Dr. Jann Strybny und Dr. Carsten Thorenz von der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft sucht das Team um Professor Griebel unter anderem nach Lösungen, Schleusen möglichst schnell zu befüllen, ohne dass an der Oberfläche gefährliche Wellen entstehen.**



alle Fotos links, Foto rechts: AG Griebel



▲ ▼ Ein Schiff wird von einer Welle überrollt.

zwischen sind die Verfahren so ausgereift und die Rechner so schnell geworden, dass wir dreidimensionale Probleme recht gut lösen können. Ich bin optimistisch, dass wir in den nächsten 20 Jahren auch viele vierdimensionale physikalische Phänomene in den Griff bekommen.“

Doch leider gibt es Probleme, die noch viel mehr Dimensionen haben. Dazu gehört beispielsweise die Bewertung von Optionspreisen in der Finanzmathematik. Optionen sind gewissermaßen Werten auf die Wertentwicklung von Aktien. Eine solche Wette könnte beispielsweise lauten, dass alle

Aktien im Dax in den kommenden zwölf Monaten um jeweils drei Prozent oder mehr steigen. Doch was wäre ein fairer Preis für eine solche Option? „Um das zu beurteilen, müssten wir bei 30 Dax-Werten ein 30-dimensionales Problem lösen“, erklärt Griebel. „Der Rechenaufwand steigt aber exponentiell mit der Dimensionalität an. Eine direkte Berechnung ist dann jenseits aller Möglichkeiten.“ Mathematiker sprechen auch vom „Fluch der Dimension“.

Dennoch gibt es Verfahren, die hochdimensionale Aufgaben zumindest näherungsweise lösen kön-

nen. Sie bemühen sich, das Problem in niedrigere Dimensionen zu überführen – vereinfacht gesagt, indem sie Aktien mit vergleichbarer Wertentwicklung zu einer Gruppe zusammenfassen. Dahinter steckt die Idee, dass sich die BMW-Aktie in der Regel ähnlich wie die von Volkswagen entwickelt. Moderne Methoden spüren derartige Korrelationen auf und nutzen sie, um die Optionspreisberechnung auf eine geringere Zahl von „Leitaktien“ zurückzuführen.

Quantencomputer

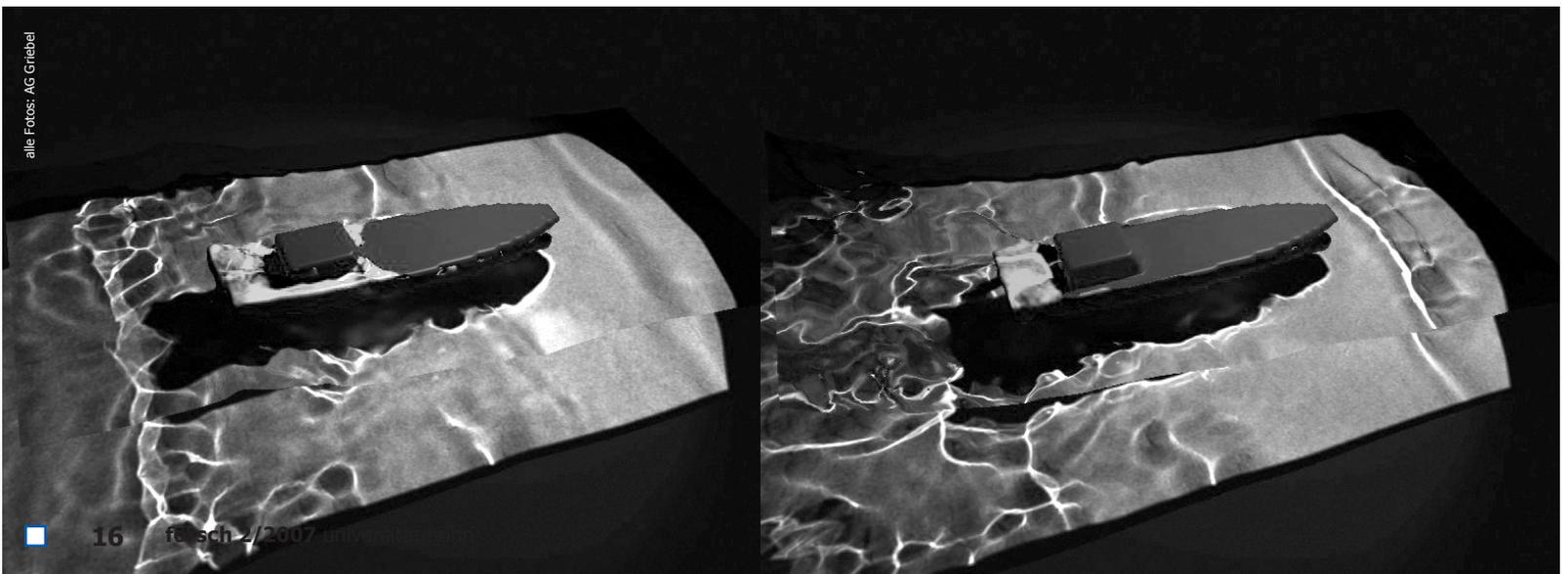
Was aber, wenn die oben beschriebene Strategie nicht reicht, um eine Aufgabe zu lösen? Dann hilft nur noch die Hoffnung. „Langfristig spannend ist sicherlich die Frage, ob es gelingt, tatsächlich einen Quantencomputer herzustellen“, sagt Michael Griebel. „Damit würden sich manche unserer Probleme von selbst erledigen.“ Erste Schritte in diese Richtung seien ja schon getan. Vielleicht, so sinniert er, erlebt er diese neue Rechnergeneration ja noch. „Man muss sicher nicht an Quantencomputer glauben“, sagt er und lächelt. „Aber man kann.“

FL/FORSCH

Institut für Numerische Simulation

Das Institut in der Wegeler Straße 6 wurde im Oktober 2003 gegründet. Die sechs Professoren und knapp 40 Mitarbeiter versuchen, Antworten auf handfeste Fragen zu finden: Wo muss man eine Klimaanlage einbauen, damit sich die kalte Luft schnell und gleichmäßig im Raum verteilt? Was ist ein „fairer“ Preis für eine Option? Wie lassen sich Blutgefäße in Tomographie-Bildern identifizieren? Wie lässt sich

eine stabile Brücke mit minimalem Eigengewicht konstruieren? Wie lassen sich Schäden im menschlichen Kniegelenk numerisch simulieren und so besser verstehen? Die bearbeiteten Fragestellungen stammen aus den Bereichen Natur- und Ingenieurwissenschaften, Landwirtschaft und Geodäsie, Medizin und Lebenswissenschaften sowie Finanz- und Wirtschaftswissenschaften.



Chaos im Gehirn

Informationsweiterleitung erfolgt nicht nur an Synapsen

Das Gehirn verarbeitet Informationen augenscheinlich chaotischer als bislang angenommen: Die Weiterleitung der Informationen von Neuron zu Neuron erfolgt möglicherweise nicht ausschließlich an den so genannten Synapsen – das sind die Kontaktstellen zwischen den Nervenzell-Fortsätzen. Anscheinend schütten die Neuronen auch auf der ganzen Länge dieser Fortsätze Botenstoffe aus und erregen so benachbarte Zellen.

Bisher schien alles ganz klar: Nervenzellen empfangen ihre Signale mit kurzen „Zellärmchen“, den so genannten Dendriten. Diese leiten die elektrischen Impulse zum Zellkörper, wo sie verarbeitet werden. Für die „Verteilung“ des Resultats sind die Axone zuständig. Das sind lange kabelartige Zellausläufer, in denen die elektrischen Signale entlanglaufen, bis sie an einer Synapse auf das Dendrit-Ärmchen eines anderen Neurons treffen. Für die elektrischen Nervenzellpulse stellt die Synapse eine unüberwindbare Barriere dar. Daher kommt es dort zu einer wundersamen Signal-Umwandlung: Die Synapse schüttet Botenstoffe aus, so genannte Neurotransmitter, die zum Dendriten diffundieren. Dort docken sie an bestimmte Rezeptoren an und erzeugen so wieder elektrische Impulse. „Bisher nahm man an, dass nur an Synapsen Neurotransmitter ausgeschüttet werden“, betont der Bonner Privatdozent Dr. Dirk Dietrich. „Das scheint nach unseren Erkenntnissen aber nicht zu stimmen.“

Botenstoff lockt Isolierzellen an

Zusammen mit seinen Kolleginnen Dr. Maria Kukley und Dr. Estibaliz Capetillo-Zarate hat Dietrich die „weiße Substanz“ im Gehirn von Ratten genauer untersucht. Hier liegen die „Kabelschächte“, die rechte und linke Hirnhälfte miteinander verbinden. Sie bestehen im wesentlichen aus Axonen und Hilfszellen. Dendriten oder gar Synapsen gibt es dort keine. „Man würde dort also auch keine Botenstoff-Freisetzung erwarten“, betont der Hirnforscher.

Dennoch machten die Wissenschaftler in der weißen Substanz eine merkwürdige Entdeckung: Sobald ein elektrischer Impuls durch ein Axon-Kabel läuft, wandern klei-

ne Bläschen mit Glutamat zur Axon-Membran und entlassen ihren Inhalt ins Gehirn. Glutamat ist einer der wichtigsten Neurotransmitter und wird auch bei der Signalweiterleitung an Synapsen ausgeschüttet. Die Forscher konnten sogar nachweisen, dass bestimmte Zellen in der weißen Substanz auf das Glutamat reagieren: Die Vorläufer der so genannten Oligodendrozyten sind die „Isolierzellen“ des Gehirns. Sie produzieren das Myelin, eine Art Fettschicht, die die Axone umhüllt und für eine schnellere Signalweiterleitung sorgt. „Wahrscheinlich orientieren sich noch unreife Isolierzellen mit Hilfe des Glutamats, um Axone zu finden und sie mit einer Myelinschicht zu umhüllen“, vermutet Dirk Dietrich.

Sobald die Axone den weißen „Kabelschacht“ verlassen, treten sie in die graue Gehirns substanz ein und treffen dort auf ihre Empfänger-Dendriten. Dort erfolgt an den Synapsen die Weitergabe der Information an die Empfängerzelle. „Wir halten es jedoch für wahrscheinlich, dass die Axone auch außerhalb von Synapsen auf ihrem Weg durch die graue Substanz Glutamat freisetzen“, spekuliert Dietrich. „Hier liegen Nervenzellen und Dendriten dicht an dicht. Das Axon könnte so also nicht nur den eigentlichen Empfänger, sondern auch noch zahlreiche weitere Nervenzellen erregen.“

Sollte diese These stimmen, muss die seit über hundert Jahren gültige Lehrmeinung zur Kommunikation von Neuronen revidiert werden. 1897 prägte Sir Charles Sherrington die Idee, dass nur an den Synapsen Botenstoffe freigesetzt werden. Laut dem Begründer der modernen Neurophysiologie können Nervenzellen daher nur mit wenigen Nervenzellen kommunizieren: nämlich nur mit denjenigen, mit denen sie über Synapsen verbunden



sind. Auf diesem Konzept beruht die Vorstellung, dass sich neuronale Information im Gehirn ähnlich wie Strom in einem Computer gerichtet und nur entlang bestimmter geordneter Schaltkreisen ausbreitet.

▲ Privatdozent Dr. Dirk Dietrich erforscht das „Chaos“ im Gehirn

Die Entdeckung des Forscherteams hat aber noch einen medizinisch interessanten Aspekt. Es ist schon lange bekannt, dass bei Sauerstoffmangel oder heftigen epileptischen Anfällen zahlreiche Isolierzellen in der weißen Substanz zugrunde gehen. Auslöser der Schäden ist ein alter Bekannter: Der Neurotransmitter Glutamat. „Niemand wusste bislang jedoch, wo das Glutamat herkommt“, sagt Dr. Dietrich. „Unsere Ergebnisse eröffnen vielleicht völlig neue Therapieoptionen.“ Denn schon heute gibt es Medikamente, die verhindern, dass Glutamatbläschen ihre Fracht ins Gehirn abgeben. Auch wissen die Bonner Neurowissenschaftler inzwischen genau, welche Rezeptoren der Isolierzellen der Neurotransmitter stimuliert – ebenfalls ein Ansatzpunkt für neue Arzneien.

Doch warum ist Glutamat mitunter so gefährlich? Bei einem Epilepsie-Anfall „feuern“ die Nervenzellen sehr schnell und heftig. Dann laufen so viele Impulse durch die Axone, dass auf einen Schlag große Mengen Glutamat frei werden. „In diesen Konzentrationen schädigt der Botenstoff die Isolierzellen“, sagt Dietrich. „Die Dosis macht das Gift.“

FL/FORSCH

Trauer, Angst, Schuldgefühle

Psychosoziale Beratung bei einer Pränataldiagnostik ist extrem wichtig

Die Pränataldiagnostik ermöglicht, manche Fehlentwicklungen und Erkrankungen eines Kindes bereits vor der Geburt zu erkennen. Manchmal stürzt das Ergebnis die Eltern in eine schwere Krise. Eine in Bonn, Düsseldorf und Essen durchgeführte Studie zeigt, dass eine begleitende psychosoziale Betreuung der Betroffenen extrem wichtig ist.

Das Ergebnis einer Pränataldiagnostik kann die Eltern in Not und Verzweiflung stürzen. Durch den akuten Leidensdruck entsteht oft zunächst der Impuls, die Schwangerschaft sofort zu beenden. „Doch es ist nicht im Sinne der Patientin, einem solchen Drängen nachzugeben“, sagt Professorin Dr. Anke Rohde, Leiterin der Gynäkologischen Psychosomatik am Universitätsklinikum Bonn. Jede Frau soll ohne Druck einen Weg finden, den sie als richtig empfindet und möglichst auch später vor sich selbst verantworten kann. „Zudem muss der Arzt nach ausführlicher Aufklärung und Beratung erst einmal feststellen, ob eine medizinische Indikation zum Schwangerschaftsabbruch gegeben ist“, betont Privatdozentin Dr. Christiane Woopen von der Universität Köln, die die Studie mit Anke Rohde wissenschaftlich begleitet.

Egal welcher Weg schließlich gegangen wird, er ist in der Regel von Trauer und Schuldgefühlen begleitet. Die drei Modellprojekte sollten

klären, inwiefern psychosoziale Beratung bei einer Pränataldiagnostik sinnvoll ist. Seit dem Studienstart im Januar 2003 haben sich rund 500 Frauen an der Erhebung beteiligt. Etwa 350 von ihnen waren zu wiederholten Befragungen bereit.

„Auch zwei Jahre nach der Pränataldiagnostik ist jeder Zweite das Erlebte gedanklich und gefühlsmäßig noch sehr präsent“, sagt Professorin Rohde. „Die Erfahrung, ein krankes oder behindertes Kind zu bekommen beziehungsweise eine Schwangerschaft abzubrechen, kann psychische Störungen verursachen.“

Zudem bleiben Ängste, unter anderem im Hinblick auf eine neue Schwangerschaft. Jede Vierte ist noch nach zwei Jahren erhöht psychisch belastet – wobei insbesondere ängstliche oder zurückhaltende Frauen ein erhöhtes Risiko für einen behandlungsbedürftigen Trauerverlauf zeigen. „Gerade diese Frauen würden von einer über die Akutsituation hinausgehenden längerfristigen Betreuung profitieren“, sagt Professorin Rohde.

Über 90 Prozent der Studienteilnehmerinnen empfanden die Beratung auch rückblickend als hilfreich. Diese bot ihnen ein neutrales Umfeld für ihre Gefühle, Ängste und innere Zerrissenheit. Verschiedene Zukunftsperspektiven mit und ohne Kind konnten reflektiert werden. Als nützlich empfanden es die Frauen auch, konkrete Fragen wie

Abschied und Beerdigung ansprechen zu können. Einige der Befragten hielten noch mehr Informationen über Hilfsangebote und Kontakte zu anderen Betroffenen und Selbsthilfegruppen für wünschenswert. Fast ausnahmslos raten die Studienteilnehmerinnen anderen Betroffenen zu einer psychosozialen Beratung – auch schon vor der Pränataldiagnostik.

Beratung als fester Bestandteil der Pränatalmedizin

Die drei Modellprojekte zeigen, wie eine psychosoziale Beratung erfolgreich in den Klinikalltag integriert werden kann. Allerdings wirft die Evaluation auch Fragen auf, beispielsweise nach einer sinnvollen Einbindung der Partner in das Beratungskonzept. Denn die Frauen empfinden die Unterstützung durch ihren Partner als enorm wichtig.

Die Studie wurde durch das Land NRW gefördert und vom Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend unterstützt. Professorin Rohde und Privatdozentin Woopen haben die Ergebnisse in einem Buch zusammengefasst:

► **Psychosoziale Beratung im Kontext von Pränataldiagnostik/ Evaluation der Modellprojekte in Bonn, Düsseldorf und Essen, ISBN: 978-3-7691-1242-9, Deutscher Ärzte-Verlag**

IV/FORSCH

Bücher James

Nikon

► **Kampf gegen Epilepsie:** Es ist ein Projekt, in das Forscher wie Betroffene viel Hoffnung setzen: 29 Arbeitsgruppen aus 12 europäischen Ländern wollen in den nächsten vier Jahren unter anderem neue Therapien gegen Epilepsie entwickeln. Zehn Millionen Euro stellt die EU für das Verbundprojekt zur Verfügung, in dem die Bonner Epileptologie eine Schlüsselrolle spielt: Patienten mit schweren Krampfanfällen, die sich auch medikamentös nicht in den Griff bekommen lassen, können sich hier nämlich einem chirurgischen Eingriff unterziehen. Dabei entfernen Hirnchirurgen vorsichtig den Anfallsherd. „Das kranke Nervengewebe eignet sich natürlich hervorragend, um beispielsweise neue Epilepsie-Medikamente zu testen“, erklärt der Epileptologe Professor Dr. Heinz Beck. Die EU-Forscher wollen mit derartigen Gewebe-Experimenten auch herausfinden, warum

manche Patienten auf Wirkstoffe ansprechen, andere dagegen nicht. Vermutlich sind dafür genetische Faktoren ausschlaggebend – wie das Krampfleiden überhaupt häufig „in der Familie“ liegt. Inzwischen konnte die Wissenschaft bereits einige Erbanlagen identifizieren, die die Erkrankung auslösen. Bei anderen Epilepsie-Varianten vermutet man zwar eine erbliche Komponente; welches Gen genau betroffen ist, weiß man aber nicht. Diese Erbanlagen zu finden, ist ein weiteres Ziel des EU-Projekts.

► **Hoffnung für AMD-Patienten:** Die lichtempfindliche Netzhaut erneuert sich ständig. Mit zunehmendem Alter klappt das nicht mehr vollständig. Was bleibt, ist ein Rest aus Abfallprodukten – unter anderem das so genannte „Lipofuszin“. Lipofuszin besitzt toxische Bestandteile und kann auf Dauer die lichtempfindlichen Sin-

nezellen schädigen. Betroffen ist vor allem die Stelle des schärfsten Sehens, auch „Makula“ genannt. Folge: Die Umgebung erscheint unscharf, Farben verblassen, ein schwarzer Fleck verdeckt das Blickfeld und dehnt sich mehr und mehr aus, bis Lesen oder Autofahren unmöglich werden. Etwa zwei Millionen Menschen in Deutschland kennen die Symptome dieser so genannten altersabhängigen Makuladegeneration, kurz AMD, aus eigener Erfahrung. Während gegen die „feuchte“ Form der AMD mittlerweile wirksame Medikamente zur Verfügung stehen, gibt es gegen die „trockene“ Variante bislang keine Therapie. In diese Lücke stößt das neue Medikament Fenretinide. Momentan startet die weltweit erste große Patientenstudie, in der die Arznei auf ihre Wirksamkeit getestet wird. Maßgeblich beteiligt ist die Universitäts-Augenklinik Bonn.

Das Laserfernsehen ist fast marktreif

Noch 150 Jahre nach seiner Geburt inspiriert Heinrich Hertz seine Erben

Er starb bereits mit 37 Jahren, und trotzdem kennt seinen Namen heute noch jedes Schulkind: Der ehemalige Bonner Physik-Professor Heinrich Hertz, der am 22. Februar 150 Jahre alt geworden wäre. Ihm zu Ehren hat die Deutsche Telekom AG im Jahr 2000 an der Uni Bonn den Heinrich-Hertz-Stiftungslehrstuhl eingerichtet. An seiner alten Wirkungsstätte entwickeln Hertz' Erben heute unter anderem Strategien, um Laserlicht zu manipulieren. Ihre Erkenntnisse könnten in nicht allzu ferner Zukunft den Sprung in die Wohnzimmer schaffen: Schon in zwei Jahren sollen erste Laserfernseher auf den Markt kommen, die in Schärfe und Farbenpracht alle heute erhältlichen Geräte weit übertreffen.

▼ **Zu Ehren von Heinrich Hertz planen die Bonner Physiker im Herbst zwei öffentliche Experimentalvorlesungen. Darin werden von Professor Dr. Karl-Heinz Althoff zahlreiche Originalexperimente vorgeführt. Professor Buse (unten) wird zudem zeigen, was die Erkenntnisse von Hertz für die Forschung heute bedeuten.**

Von 1889 bis zu seinem Tode fünf Jahre später lehrte und forschte Heinrich Hertz an der Uni Bonn. In der Physikalischen Sammlung lagern zahlreiche Originalinstrumente, die er für seine Experimente mit elektromagnetischen Wellen nutzte. Darunter ist auch sein berühmter Dipol-Sender: Hertz ließ zwischen zwei halbrunden Kupferelektroden – dem Dipol – einen Funken überschlagen. Dadurch erzeugte er hochfrequente Radiowellen, die er mit einem ähnlichen Dipol in einigen Metern Entfernung wieder auffangen konnte. Wenn die Ausrichtung zwischen Sender und Empfänger stimmte, flogen dort dann ebenfalls die Funken. Das Radio verdankt (ebenso wie der Begriff „Rundfunk“) diesem Effekt seine Existenz. Auch

wenn wir eine Lampe einschalten, die Infrarot-Fernbedienung betätigen, uns im Solarium bräunen oder mit der Mikrowelle Speisen zubereiten: Immer sind die von Heinrich Hertz nachgewiesenen „elektromagnetischen Wellen“ im Spiel.

„Einen Dipol-Empfänger gibt es heute in jedem Handy“, erklärt Professor Dr. Karsten Buse. Der 40-Jährige bekleidet an der Universität Bonn die nach Hertz benannte Stiftungsprofessur der Deutschen Telekom. Die Zusammenarbeit hat bereits zu einem knappen Dutzend Patenten geführt – zumeist im zukunftssträchtigen Gebiet der Laserphysik. „Die Firmen reißen uns die Mitarbeiter aus den Händen“, sagt der Physiker nicht ohne Stolz. Auch bei den großen US-amerikanischen Eliteschmieden wie Stanford oder dem MIT sind seine Diplomanden und Doktoranden gern gesehene Gäste.

Eines der Spezialgebiete von Buses Arbeitsgruppe ist eine exotische chemische Verbindung, das so genannte Lithiumniobat. Die Substanz bildet Kristalle, an denen Heinrich Hertz wohl seine helle Freude gehabt hätte: Sie stecken nämlich gewissermaßen voller mikroskopisch kleiner Dipol-Antennen. Für Laserforscher ist diese Substanz extrem interessant: Mit ihr lässt sich nämlich vergleichsweise einfach und kostengünstig farbiges Laserlicht erzeugen.

Denn Laser, die direkt rot, grün oder blau leuchten, sind extrem ineffizient. Bei gleichem Energieeinsatz strahlen die kleinen Halbleiterlaser viel kräftiger – dafür aber nur im unsichtbaren Infrarotbereich. Daher ge-

hen die Erben von Heinrich Hertz einen Umweg: „Wenn wir einen Lithiumniobat-Kristall mit infrarotem Laserlicht beschießen, regen wir die Dipole darin so stark an, dass sie wie eine zu stark gezupfte Gitarrensaiten zahlreiche Obertöne aussenden“, erklärt Buse. Dabei vervielfacht sich die Frequenz des eingestrahlten Lichts; die Farbe verschiebt sich in den sichtbaren Bereich. „An unserem Lehrstuhl verbessern wir die Kristalle so, dass wir die Farbumwandlung mit sehr hoher Effizienz und bei großen Lichtleistungen hinbekommen.“

Durch Kombination mit anderen Verfahren können die Bonner Physiker so genau die gewünschte Lichtfarbe erzeugen – wichtig unter anderem für die Entwicklung extrem brillanter und scharfer Bildschirme. Denn mit einem roten, einem grünen und einem blauen Laser lassen sich prinzipiell alle Farben herstellen, die unser Auge sehen kann. „Ein normales TV-Gerät schafft nur 50 Prozent aller Farben“, betont der Physiker. „Neben einem Laserdisplay wirken herkömmliche Bildschirme einfach flau.“ Die großen Elektronikfirmen arbeiten daher momentan an Fernsehgeräten auf Laser-Basis. „Inzwischen steht die Technologie auch dank unserer Erkenntnisse kurz vor dem Durchbruch“, versichert Buse. „Spätestens in zwei Jahren werden die ersten Laserfernseher auf den Markt kommen.“

FL/FORSCH



Foto: Frank Homann

Die Welt direkt nach dem Urknall

Bonner Forscher blicken am CERN weit in die Vergangenheit

25 Projektpartner, 32 Millionen Euro Fördergelder, zehn Jahre Vorbereitungszeit: Das sind die Rahmendaten des deutschen Anteils dreier internationaler physikalischer Großprojekte, in denen es unter anderem um den Aufbau der Materie Sekundenbruchteile nach dem Urknall geht. Finanziert werden die Kollaborationen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Auch das Physikalische Institut der Universität Bonn erntet nun die Früchte einer jahrelangen Vorarbeit.

Ab Ende diesen Jahres nimmt am Europäischen Labor für Teilchenphysik CERN ein neuer Beschleuniger seine Arbeit auf – der weltgrößte seiner Art. Im „Large Hadron Collider“ lassen die CERN-Physiker positiv geladene Teilchen mit ungeheurer Wucht aufeinanderprallen. Dabei kommt es zu Reaktionen, wie man sie auch in der ersten Billionstel Sekunde nach dem Urknall hätte beobachten können.

Die Bonner Experimentalphysiker haben sich fast ein Jahrzehnt auf diesen Moment vorbereitet: So lange zurück reichen nämlich ihre Pläne für einen äußerst schnellen und genauen Detektor, der nun in einem Teil der Experimente zum Einsatz kommen wird. Denn bei den „Crashtests“ wandeln sich die Kontrahenten in neue Teilchen um, deren Eigenschaften viel über die Anfänge unseres Universums vor etwa 15 Milliarden Jahren verraten. Diese Reaktionsprodukte zu orten, hat sich das Team um Professor Dr. Norbert Wermes auf die Fahnen geschrieben – keine ganz einfache Aufgabe: Pro Sekunde kommt es zu 40 Millionen Zusammenstößen; dabei entstehen jeweils durchschnittlich 1.600 Teilchen, die nachgewiesen werden müssen.

Eines davon ist das rätselhafte Top-Quark. Dr. Markus Cristinziani wird dieses exotische Elementarteilchen unter die Lupe nehmen. Der 34-jährige Deutsch-Italiener leitet eine neue Emmy-Noether-Forschungsgruppe, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit 1,2 Millionen Euro finanziert wird. Ein lohnender Einsatz, gilt doch das Top-Quark als „Guckloch“ der Physiker auf neuartige Phänomene. Seine Erforschung könnte unser Verständnis vom Aufbau der Materie tiefgreifend verändern.

Das Top-Quark ist gewissermaßen ein Neuzugang im physikalischen Teilchenzoo. Es entsteht bei energie-



Foto: aric

reichen Kollisionen, die nur in sehr großen Beschleunigern erreicht werden können. 1995 wurde es in Chicago zum ersten Mal nachgewiesen. Weniger als 1.000 Mal konnten Physiker das rätselhafte Teilchen seitdem beobachten. Entsprechend wenig ist bis heute über das Top-Quark bekannt. Was man weiß, ist, dass es für ein Elementarteilchen extrem schwer ist: Es wiegt fast soviel wie ein Gold-Atom. „Und eben dieses Gewicht ist es, das das Teilchen für uns so interessant macht“, erklärt Dr. Markus Cristinziani. Da Quarks wie entgegengesetzt gepolte Magnete normalerweise direkt nach ihrer Geburt zu zusammengesetzten Teilchen „verkleben“, geben sie nur sehr wenig über sich als Individuen preis. Anders das Top-Quark: Es ist aufgrund seines Gewichts so instabil, dass es direkt zerfällt. „Die Zerfallsprodukte lassen sich mit physikalischen Methoden analysieren“, sagt der Leiter der Emmy-Noether-Gruppe.

Und wozu das Ganze? „Physiker erklären sich den Aufbau der Materie mit einer

Theorie, dem so genannten Standardmodell der Teilchenphysik“, erklärt Professor Wermes. „Diese Theorie hat aber gravierende Mängel, die sich bei den Experimenten am Large Hadron Collider mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zeigen werden. Bei den Energien, die wir dort erreichen, muss die Vorhersagekraft der Theorie zusammenbrechen.“

So muss das Standardmodell möglicherweise um die so genannte Supersymmetrie erweitert werden, die neue (supersymmetrische) Teilchen vorhersagt. Eines dieser Teilchen, vermutet die Physikergemeinde, könnte auch das Rätsel der „Dunklen Materie“ erklären, das Kosmologen, Astronomen und Physiker derzeit gleichermaßen beschäftigt. Professor Wermes: „In diesem Fall wird ein neues Kapitel der Physik aufgeschlagen.“

FL/FORSCH

◀ **Besuch am CERN: Kanzler Dr. Reinhardt Lutz, Rektor Professor Dr. Matthias Wigner und Teilchenphysiker Professor Dr. Norbert Wermes wagen schon einmal den Blick in die Tiefen der Materie.**

