

bild der wissenschaft plus



DIE PREISTRÄGER 2008

KlarText!
KlarText!
KlarText!
KlarText!

KLAUS TSCHIRA PREIS

für verständliche Wissenschaft

PREISTRÄGER, KLASSENFahrTEN UND EIN ÜBERZEUGUNGSTÄTER

WER MIT SEINER DOKTORARBEIT fertig ist, atmet durch. Doch manchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern genügt die akademische Würde allein nicht mehr. Sie wollen zeitgleich unter Beweis stellen, dass sie ihre Arbeit kurz, prägnant und allgemein verständlich darstellen können. 126 frisch promovierte Naturwissenschaftler haben sich das 2008 vorgenommen und um den diesjährigen Klaus Tschira Preis beworben. Vielen ist eine prägnante Umsetzung geglückt. Die Klaus Tschira Stiftung und bild der wissenschaft als Medienpartner bedanken sich bei allen herzlich. Doch wie es bei einem Wettbewerb so ist: Ausgezeichnet werden nur die Allerbesten. Deren Beiträge stellen wir Ihnen auf den folgenden Seiten im Originalwortlaut vor, angereichert durch attraktive Porträtaufnahmen und Infokästen – wie Sie das bei bild der wissenschaft gewohnt sind. Fach- und Endjury haben sich die Entscheidung nicht leicht gemacht. So gefielen zwei Beiträge aus der Physik so gut, dass beiden Verfasserinnen ein Preis zuerkannt wurde. Leer ausgegangen sind dagegen in diesem Jahr die Mathematiker. Schon jetzt freuen wir uns darauf, wenn sich das beim neuen Wettbewerb ändert.

Welche Kreise der in diesem Jahr zum dritten Mal vergebene Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft zieht, zeigen die Aktionen von Theo Steiner oder Torsten Misfeldt. Steiner („Ich unterrichte wahnsinnig gerne“) veranstaltete an der Universität Karlsruhe einen Workshop, bei dem er die Aktivitäten rund um den Preis via Rollenspiel nachbilden ließ. Misfeldt, Physik- und Mathematiklehrer am Christian-Gymnasium in Hermannsburg (zwischen Hamburg und Hannover), veranstaltete eine Kursfahrt nach Süddeutschland, wo er mit 18 Schülerinnen und Schülern der 12. Klassenstufe gleich eine Reihe von früheren Tschira-Preisträgern an ihrer Arbeitsstätte aufsuchte: die Biologin Cristina Voss sowie die beiden Mathematiker Armin Fügenschuh und Sebastian Sager. „Sie haben für uns ein Superprogramm arrangiert“, äußert sich Misfeldt begeistert. So haben die Preisträger gewiss dazu beigetragen, wenn aus der Gruppe der 18 Jugendlichen die eine oder der andere Naturwissenschaften studiert. Das zu bewirken, ist eines der großen Ziele des Klaus Tschira Preises, wie der Initiator im Interview – bitte umblättern – erklärt.



K. Meilenthin

Wolfgang Hess, Chefredakteur

INHALT

- 4 „WIR SIND SCHLICHT
UNBÜROKRATISCHER“**
Klaus Tschira im bdw-Gespräch über
Erfolg und Ziele seiner Stiftung
- 8 DAS ZWEITE SKELETT
DES MENSCHEN**
Christian Fleischer, Informatik
- 12 PLANETENENTSTEHUNG
AUF DER RAUMSTATION**
Felicitas Mokler, Physik
- 16 UNSTERBLICHE ELEKTRONEN**
Anne Julia Stähler, Physik
- 20 SPRINGENDE GENE KLÄREN
DIE SÄUGER-EVOLUTION**
Jan Ole Kriegs, Biologie
- 24 UND ES WARD SICHT**
Kristian Franze, Neurowissenschaften
- 28 PARTNERVERMITTLUNG
FÜR KLEINE TEILCHEN**
Marie Katrin Schröter, Chemie
- 32 MIT KINDERN DIE WELT
ENTDECKEN**
Die Klaus Tschira Stiftung fördert
naturwissenschaftliche Projekte in
Kindertagesstätten
- 35 IMPRESSUM**



Die Sieger 2008
haben es geschafft, ihre Forschungsarbeit verständlich darzustellen und sich damit einen

Platz auf dem Cover dieses bild der wissenschaft plus erobert.

„WIR SIND SCHLICHT UNBÜROKRATISCHER“

Seit 1995 ist Klaus Tschira in Deutschland einer der größten Mäzene der Wissenschaft. Was er dadurch bewegen konnte und was nicht, sagt er im Gespräch mit bild der wissenschaft.

Das Gespräch führte Wolfgang Hess

Der Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft wird nun zum dritten Mal bundesweit vergeben. Hat sich die Resonanz auf den Preis so entwickelt, wie Sie sich das vor Jahren erhofften, Herr Tschira?

Mit der Entwicklung bin ich sehr zufrieden. Der Preis erreicht eine große Öffentlichkeit – nicht zuletzt durch die Zusammenarbeit mit bild der wissenschaft. Auch inhaltlich liegen wir richtig: Die Begutachtung erst durch eine Fachjury und dann durch eine Hauptjury ist schlank und effizient und erspart uns den Aufbau einer riesigen Organisation.

Sind Sie mit der Zahl der Einsendungen ebenso zufrieden? Im ersten Jahr waren es 84, im Jahr darauf 132 und 2008 sind es 126.

Ich kann mit der erreichten Zahl an Bewerbern sehr gut leben. Wenn die eine oder andere unserer sechs Fachrichtungen stets nur ganz wenige Einsendungen hätte, würde mich das natürlich schon etwas nachdenklich machen – auch deswegen, weil die Jury dann kaum die Qual der Wahl hätte.

Preise gibt es in sechs Disziplinen – Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik, Neurowissenschaften und Physik. In welchen registrieren Sie überdurchschnittlich viele Bewerber und überdurchschnittlich viele gute Bewerbungen?

Mein Herz schlägt für die Physik. Doch gerade dort gibt es oft Inhalte, die sehr schwer darzustellen sind. Aus der Biologie haben wir in der Regel die meisten Bewerbungen. Bei der Informatik könnte das Feld noch zulegen: sowohl was die Zahl der Bewerber angeht als auch deren textliche Qualität.

Entwickeln Sie zu Ihren Preisträgern persönliche Beziehungen?

Natürlich nicht zu allen. Mit einigen stehe ich in persönlichem Kontakt. Aktuell sind einige Preisträger aus einem ähnlich gelagerten früheren Wettbewerb Gutachter für den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft.

Haben die Klaus Tschira Preise Karrieren bereits befördert?

Einige der Preisträger sind mittlerweile Professoren, andere auf dem Weg dorthin. Bei ihrer Berufung spielt sicher auch ihre Fähigkeit zur einfachen Darstellung komplexer Sachverhalte eine große Rolle.

Wie nimmt Ihr Umfeld den Preis wahr?

Viele finden es toll, was ich mache. Im weiteren Gespräch stellt sich dann oft heraus, dass dies lediglich die Eingangsfloskel ist, um selbst an Stiftungsgelder heranzukommen. Manche kommen bei einer solchen Gelegenheit sogar schon mit einem ausgefüllten Antrag auf Förderung auf mich zu.

Werden Sie dann schwach?

Auf der Straße entscheide ich mich in diesen Dingen äußerst ungern, das heißt: niemals. Und ich verhehle nicht, dass mich die Penetranz einiger Individuen sehr stört. Deshalb genieße ich es, wenn ich unerkannt umhergehen kann, ohne dass mich jemand anpumpt. Im Übrigen gilt: Wer sich bei einem Förderantrag an die Klaus Tschira Stiftung an dem im Internet nachzulesenden Verfahren orientiert, bekommt nach meinem Eindruck deutlich schneller einen Bescheid über Förderung oder Nichtförderung als bei manchen großen Forschungsförderungseinrichtungen. Wir sind schlicht unbürokratischer.

Seit rund einem Jahrzehnt präsentieren sich Wissenschaftler der Öffentlichkeit deutlich gefälliger als früher – etwa auf dem jährlichen Wissenschaftssommer, der bei der Bevölkerung sehr gut ankommt. Gefällt Ihnen das?

Es ist gut, dass über Wissenschaft mehr berichtet wird als früher. Ob mir immer gefällt, wie das gemacht wird, ist unwichtig. Weit wichtiger ist, dass die Mediennutzer Gefallen daran finden. Auch wenn ich in der medialen Berichterstattung oft Fehler feststelle, ist es doch besser, überhaupt über Wissenschaft zu berichten, als die Thematik zu übergehen.



Fotos: R. Kwiotek für bdw

KLAUS TSCHIRA wurde 1940 in Freiburg im Breisgau geboren. Nach seinem Diplom in Physik an der Technischen Hochschule (heute: Universität) Karlsruhe begann er 1966 als Systemberater bei IBM Deutschland. Sechs Jahre später gründete er mit vier IBM-Kollegen die Firma „Systemanalyse und Programmentwicklung“ – SAP, das inzwischen viertgrößte Software-Unternehmen weltweit. 1995 wurde der Badener von der Universität Klagenfurt mit der Ehrendoktorwürde für Informatik ausgezeichnet. Im selben Jahr übertrug er einen großen Teil seines Vermögens in die Klaus Tschira Stiftung gemeinnützige GmbH mit Sitz in Heidelberg. 2007 förderte die Stiftung ihre zahlreichen Projekte mit über 19 Millionen Euro.

Die Klaus Tschira Stiftung fördert zwei Doktorarbeiten, die der Frage nachgehen, wie Kinder in Kindergärten an die Beobachtung von Naturphänomenen herangeführt werden können. Was kam dabei heraus?

Aus dem von der Stiftung initiierten Projekt „Mit Kindern die Welt entdecken“ (gleichnamiger Beitrag ab S. 32) ist mittlerweile das Zentrum für frühe naturwissenschaftliche Förderung an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg hervorgegangen – ebenfalls von uns gefördert. Im Mittelpunkt der Aktivitäten steht die Fortbildung der Erzieherinnen. Hier hat sich gezeigt, dass die Erzieherinnen deutlich an Kompetenz gewinnen, um Kinder für Naturwissenschaften zu begeistern. Sie geben ihr Wissen und ihre Erfahrungen weiter und die Kinder reagieren sehr positiv auf diese Angebote.

Sind Sie sicher, dass die durch Sie geförderten Aktivitäten junge Menschen dauerhaft für Naturwissenschaft begeistern?

Ich bin davon überzeugt, sonst könnte ich die Förderung sein lassen. Tiefer gehende Resultate habe ich allerdings noch nicht. Dazu müsste man einen Zeitblock von etwa zwanzig Jahren untersuchen – und so lange fördere ich noch nicht. Doch auch dann wird man Schwierigkeiten mit einem konkreten Nachweis haben. Aus einstigen Kindergartenkindern sind Erwachsene geworden, die sich über die Welt verteilen. Machen Sie da einmal eine aussagekräftige Statistik!

Sie kritisieren immer wieder, dass junge Menschen in Deutschland viel zu spät mit Chemie oder Physik in Berührung kommen.

Bei uns passiert das erst dann, wenn die jungen Menschen pubertieren, sich also von Natur aus mit ganz neuen persönlichen Entwicklungen auseinandersetzen. Diese Fächer müssten viel früher in den Unterricht integriert werden. Mit dieser Einschätzung stehe ich nicht allein: Die Einführung des Fächerverbands Naturwissenschaft und Technik in die baden-württembergischen Lehrpläne ist gewiss ein Schritt in die richtige Richtung. Ich lese sehr gerne Biografien von einschlägigen Nobelpreisträgern. Fast jedes Mal stelle ich dabei fest, dass bei ihnen schon im Kindesalter die Neugierde auf naturwissenschaftliche Dinge geweckt wurde.

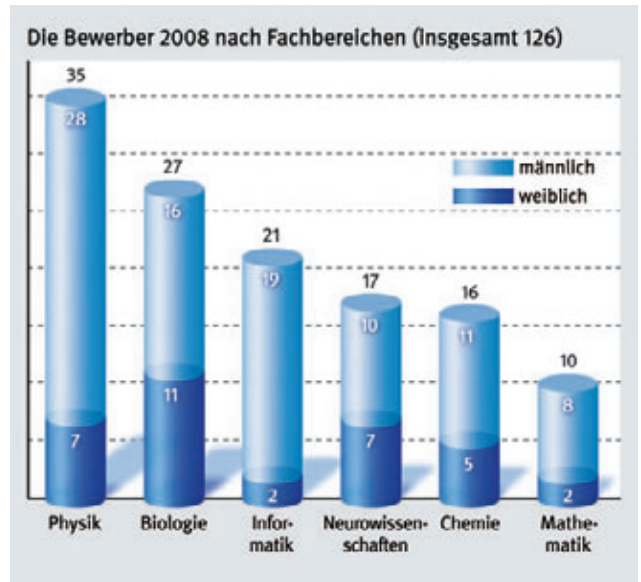
Wohl deswegen veranstaltet die Klaus Tschira Stiftung seit 2006 die Erlebnistage „Explore Science“. Dabei werden

Schüler motiviert, sich durch pfiffige naturwissenschaftliche Experimente auszuzeichnen. Was fällt Ihnen bei den Teilnehmern vor allem auf?

Die Jugendlichen sind enthusiastisch dabei. Die Beteiligung war phänomenal – beim letzten Explore Science kamen 20 000 Besucher und über 2000 Schüler beteiligten sich bei unserem Explore-Science-Wettbewerb. Was mir allerdings auch auffällt: Etlichen jungen Wettbewerbsteilnehmern fehlen grundlegende naturwissenschaftliche Einblicke, die meine Generation durch die tägliche Erfahrungswelt noch intuitiv vermittelt bekam. So verstanden viele bei der Aufgabe, ein Marsmobil zu bauen, nicht, wo der Schwerpunkt eines Fahrzeugs liegen muss, damit es bei Unebenheiten nicht umfällt. Andere wiederum statteten ihre Rover mit so kleinen Rädern aus, dass sie mehrfach an Hindernissen steckenblieben. Ich behaupte: Heute haben viele Kinder und Jugendliche große Defizite bei der Naturbeobachtung. Schon allein deshalb ist es dringend notwendig, diese Gruppen zu fördern. Im Übrigen geht es bei meiner Förderung nicht nur darum, Jugendliche zum Studium der Naturwissenschaften oder Mathematik zu motivieren, sondern es geht mir auch darum, dass diesen Fachgebieten generell mehr öffentliches Interesse, im Idealfall sogar Wohlwollen entgegengebracht wird. Konkret möchte ich dazu beitragen, dass technik- oder wissenschaftsfeindliche Einstellungen in unserem Land zurückgedrängt werden.



Fast ein Viertel aller Bewerber um den Klaus Tschira Preis 2008 kamen aus den zwei Universitätsstandorten Berlin und München. Im Vergleich zur Größe der Universität schwach vertreten sind dagegen die Standorte Köln, Münster und Duisburg-Essen.



Weit über hundert Einreichungen um den Klaus Tschira Preis zeigen auch in diesem Jahr: der Wettbewerb um die verständlichsten Kurzfassungen von Doktorarbeiten ist attraktiv. Erfreulich viele Bewerbungen kamen 2008 aus der Physik – in den Jahren zuvor machte stets die Biologie das Rennen. Der Anteil der Frauen liegt dieses Jahr bei 27 Prozent (2007: 49 Prozent).

Sie sind Diplom-Physiker und einer der fünf Mitgründer eines der erfolgreichsten Software-Unternehmen der Welt. Haben Naturwissenschaftler von Hause aus in der Software-Branche die besseren Karten?

Das kann ich nicht bestätigen, schließlich wird in einer erfolgreichen Software-Firma nicht nur programmiert. Menschen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund haben meist ein höheres Interesse am Programmieren als Betriebs- und Volkswirte oder Absolventen eines geisteswissenschaftlichen Studiums. Andererseits entwickeln gerade Informatikstudenten in manchen deutschen Universitäten Scheuklappen: Bei ihrer Berufsorientierung habe ich immer wieder die nötige Flexibilität vermisst. Mathematiker und Physiker sind da offener.

Vor Jahren sagten Sie im Gespräch mit bild der wissenschaft, dass Sie die möglicherweise dünnköpfige Überzeugung haben, Geld sinnvoller auszugeben als staatliche Stellen.

Um Steuergelder konkurrieren alle Ministerien. Da ist man nie sicher, ob das Geld in die Forschungsförderung fließt oder etwa in fernen Ländern verballert wird. Diese Überzeugung hat sich verfestigt. Natürlich müsste ich als gewissenhafter Mensch das mit konkreten Zahlen belegen können – was mir schwerfällt. Doch wenn ich mich umschaue, was sich politisch tut in unserem Land, komme ich zu dem Schluss, dass es dort nur wenigen darum geht, wirklich etwas voranzubringen.

Immer mehr wohlhabende Menschen fördern vielleicht auch deshalb die Wissenschaft direkt oder rufen Stiftungen ins Leben, die die Wissenschaft fördern. Betrachten Sie das als Konkurrenz – auch vor dem Hintergrund, dass Ihr Engagement damit nur noch eines unter vielen anderen ist?

Über Gleichgesinnte, auch über Nachahmer, freue ich mich. Denn auch größeren Stiftungen ist es unmöglich, wichtige Themen flächendeckend zu fördern. Wir beschränken uns bei vielen Aktivitäten auf den Rhein-Neckar-Raum. Einige unserer Pilotprojekte werden allerdings in anderen Bundesländern nachgeahmt. Die Republik ist groß genug, dass die privaten Wissenschaftsförderer sich nicht gegenseitig auf die Zehen treten.

Was ist für Sie Ihr größter Erfolg als privater Forschungsförderer?

Sehr gefreut hat mich, wie schnell das von mir ins Leben gerufene European Media Lab EML einen internationalen wissenschaftlichen Ruf erworben hat. Auch der Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft und unsere Kinder- und Jugendförderung gehören zweifellos in die Erfolgskategorie.

Und Ihr größter Flop?

Einige Projekte haben sich nicht so entwickelt, wie ich das zunächst hoffte. Doch einen Flop erkenne ich nirgends.

Es gibt also kein Projekt, das Sie mit Ihrem heutigen Wissen nicht mehr fördern würden?

Ich denke, wir haben uns bisher nirgends richtig geirrt.

Selbstredend wünschen wir Ihnen ein langes und gesundes Leben. Dennoch: Wie organisiert Klaus Tschira die von ihm ins Leben gerufene Stiftung so, dass sie über den Tag hinaus Bestand hat?

Eine schwierige Aufgabe. Es gibt Überlegungen, die eigenen wissenschaftlichen Aktivitäten und die Forschungsförderung auszugliedern. Die gemeinnützige GmbH wird



Überzeugungstäter Klaus Tschira unterstützt mit seiner Stiftung Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik.

möglicherweise per Testament in eine gemeinnützige, rechtsfähige Stiftung umgewandelt, so dass die staatliche Stiftungsaufsicht bei der Befolgung des Stifterwillens behilflich ist.

Die Klaus Tschira Stiftung gGmbH

1995 von dem Mitgründer des Softwareunternehmens SAP Klaus Tschira ins Leben gerufen, gehört die Klaus Tschira Stiftung zu den größten gemeinnützigen Stiftungen Europas, die mit privaten Mitteln ausgestattet wurden. Die Stiftung fördert die Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik und möchte zur Wertschätzung dieser Fächer beitragen. Ein kleines kreatives und flexibles Team entwickelt für das Stiftungsziel neue Ideen und setzt diese in eigener Regie oder mit Partnern modellhaft um. Im Förderbereich „Faszination Naturwissenschaften“ unterstützt die Stiftung zahlreiche Projekte, die Kinder und Jugendliche für Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik begeistern sollen. Hierzu gehören die naturwissenschaftlichen Erleb-

nistage „Explore Science“ und der „Jugendsoftwarepreis“. „Forschung für die Gesellschaft“ ist der zweite große Bereich, in dem sich die Klaus Tschira Stiftung engagiert. Hierbei wird nicht nur der wissenschaftliche Nachwuchs durch ausgewählte Stipendienprogramme gefördert, sondern auch zahlreiche Forschungseinrichtungen werden unterstützt, wie zum Beispiel das Institut EML Research oder das Zentrum für Modellierung und Simulation in den Biowissenschaften. Im dritten Bereich „Verständliche Wissenschaft“ engagiert sich die Stiftung in Projekten, die Wissenschaftler beim Erwerb kommunikativer Fähigkeiten und Journalisten bei der Berichterstattung unterstützen. Neben Medien- und Schreibtrainings für Wissenschaftler verleiht die Stiftung jährlich „KlarText!“, den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft. **Mehr Informationen gibt es unter www.klaus-tschira-stiftung.de**



Hey Cowboy, fertig zum Duell?

Obwohl es anders aussieht, hat Christian Fleischer nur friedliche Absichten. Das Exoskelett könnte bei Rettungsaktionen oder als Kraftverstärker zum Einsatz kommen.

DAS ZWEITE SKELETT DES MENSCHEN

Eine eingeschränkte Mobilität geht oft mit dem Verlust von Lebensqualität einher. Statt Krücken oder Stützwagen könnte ein Exoskelett helfen – das die Muskeln je nach Bedarf unterstützt.

von Christian Fleischer

DER MENSCHLICHE KÖRPER besitzt über sechshundert Muskeln, deren hauptsächlichster Zweck es ist, Bewegungen zu erzeugen. Diese Bewegungen sind untrennbar mit dem menschlichen Leben verbunden. Das bezieht sich nicht nur auf den lebenserhaltenden Herzschlag oder das Atmen, sondern auch auf die Fortbewegung des Menschen im Allgemeinen. Doch was geschieht, wenn die Muskeln zu schwach sind oder nicht mehr richtig kontrolliert werden können? Neben den unmittelbaren Bedürfnissen zu essen oder mit anderen Menschen zu kommunizieren ist die Mobilität eines der wichtigsten Dinge im menschlichen Leben, ganz gleich ob bei alltäglichen Bewegungen wie dem Aufstehen aus dem Bett, während der Arbeit im Büro oder beim Tragen schwerer Lasten in einer Fabrik. Eine eingeschränkte Mobilität bedeutet immer auch eine verringerte Teilnahme am sozialen Leben und weniger Kommunikation.

Aus diesen Gründen wird schon seit über vierzig Jahren an speziellen Geräten, sogenannten „Exoskeletten“, geforscht, die unter anderem das menschliche Gehen unterstützen sollen. Im Gegensatz zu Krücken oder Stützwägelchen mit Rädern sind diese Geräte der menschlichen Anatomie angepasst: Sie verlaufen entlang der Gliedmaßen und umschließen sie von außen, denn „Exoskelett“ bedeutet „Außen-Skelett“. Sie halten den zu stützenden Körper von

außen fest, im Gegensatz zum „Endoskelett“, dem inneren Skelett, beispielsweise des Menschen. Zudem besitzen diese Exoskelette Gelenke und Antriebe, um Bewegungen zu unterstützen.

Im Blickpunkt der Wissenschaftler weltweit stehen unterschiedliche Anwendungen: Sie reichen von der Unterstützung gelähmter Menschen und der Verbesserung der Rehabilitation über Kraftverstärker für ältere Menschen, Soldaten und Fabrikarbeiter bis hin zur Verwendung als Schnittstelle zu virtuellen Welten. Aber auch als Trainingshilfen für Sportler oder Monteure können solche Geräte eingesetzt werden. Bei gesunden Menschen wird es dann besonders interessant, wenn sie durch die Kraftunterstützung leistungsfähiger werden, ob bei Rettungsmissionen nach Naturkatastrophen oder auf Wanderungen in der Freizeit.

Neben der Entwicklung einer tragbaren, nicht behindernden mechanischen Konstruktion gibt es eine ganz spezielle Herausforderung für die Wissenschaftler: Woher weiß das Exoskelett, wie der Mensch sich bewegen möchte, um diese Bewegung zu unterstützen? Wie teilt der Mensch dem Exoskelett den Bewegungswunsch mit?

Mit dieser zentralen Frage habe ich mich während meiner Promotion an der Technischen Universität Berlin auseinandergesetzt und eine Lösung erarbeitet, die im Folgenden beschrieben

wird. Da ein Computer die Steuerung des Exoskeletts übernimmt, kann man diese Frage als Suche nach einem geeigneten Eingabemedium auffassen. Herkömmliche Geräte wie Tastaturen und Joysticks scheiden aus, da menschliche Gehbewegungen zu komplex sind und in vielen Richtungen permanent korrigiert werden müssen, um das Gleichgewicht zu halten. Und im Idealfall soll der Mensch schlicht versuchen, die Bewegung auszuführen und sofort Unterstützung erhalten, ohne zusätzli-

DR. CHRISTIAN FLEISCHER

- > **1974** geboren in Berlin
- > **1995** Abitur
Zivildienst
- > **ab 1996** Studium der Technischen Informatik an der Technischen Universität Berlin
- > **2001** Diplom in Technischer Informatik
- > **2001 bis 2003** Softwareentwickler
- > **2003 bis 2007** Doktorand an der Technischen Universität Berlin
- > **18.7.2007** Promotion zum Dr.-Ing.
- > **seit 2008** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Firmenausgründung geplant

Chr.Fleischer@web.de
<http://pdv.cs.tu-berlin.de/ExoSkeleton>



Tüfteln und schrauben: Informatikkenntnisse allein genügen nicht. Christian Fleischer braucht für seine Arbeit auch handwerkliches Geschick.

che Eingaben tätigen zu müssen. Doch wo kann dieser Bewegungswunsch abgelesen werden? Es gibt eine Reihe von Forschern, die Gehirnaktivitäten auswerten und in Steuersignale umsetzen, etwa um eine Tastatur für gelähmte Menschen zu ersetzen. Allerdings ist nicht jeder Bewegungswunsch im Gehirn ablesbar: Nur komplizierte Bewegungen werden von dort gesteuert, aber sich wiederholende oder automatisierte Bewegungsmuster, wie etwa beim Laufen, werden vom Hirnstamm und dem Rückenmark in der Wirbelsäule gelenkt. Dies schafft Freiraum, sich während solcher Bewegungen auf andere Dinge konzentrieren zu können. Lediglich das Anpassen einzelner Schritte, etwa um ein Hindernis zu übersteigen, wird vom Gehirn bewusst kontrolliert. Reflexe werden sogar ganz ohne das Gehirn und den Hirnstamm in lokalen Nervenschleifen gesteuert. Verirrt sich beispielsweise ein nackter Fuß unglücklicherweise auf eine Reißzwecke, so kann er als Reaktion auf den Schmerz sofort wieder hochgehoben werden, ohne dass das Gehirn mitbeteiligt ist. Da diese Mechanismen für Alltagsbewegungen berücksichtigt werden sollten, ist es sinnvoll, den Bewegungswunsch dort abzulesen, wo alle

NUR FÜR ZIVILE ZWECKE

Christian Fleischer im bdw-Gespräch

• Wer waren Ihre Versuchspersonen für die Entwicklung des Exoskeletts?

Ich selbst war mein einziger Proband. Ich bin zwar gesund, aber die Ergebnisse sind übertragbar, denn das Exoskelett soll etwa auch gesunde Fabrikarbeiter unterstützen. Leider ist es rechtlich schwierig, die Versuche an Patienten durchzuführen.

• Wie fühlt es sich an, ein Exoskelett am Körper zu haben?

Es ist ungewohnt, da man zusätzliches Gewicht mit sich herumträgt. Überraschend war: Beim Treppensteigen musste ich mehrfach auf die Anzeige des Geräts schauen, um sicher zu sein, dass es tatsächlich die gewünschte Unterstützung liefert. Den Unterschied habe ich erst gemerkt, als ich das Gerät abgeschaltet habe.

• Gibt es das Gerät bald auf dem Markt?

Leider ist die mobile Einheit noch zu sperrig und zu laut. Solange sie nicht unter der Hose verschwindet, ist sie für Privatpersonen uninteressant. Mein Exoskelett soll übrigens ausschließlich zivilen Zwecken dienen. Das amerikanische Militär arbeitet allerdings schon mit solchen Geräten.

Kontrollinstanzen zusammenfließen: direkt an den Muskeln. So steht dem Benutzer ein äußerst flexibles System zur Verfügung, das beliebige Bewegungen durchführen und ineinander übergehen lassen kann. Allerdings: Ist der Mensch durch eine Lähmung nicht in der Lage, seine eigenen Muskeln zu kontrollieren, so kann dieses Prinzip nicht eingesetzt werden.

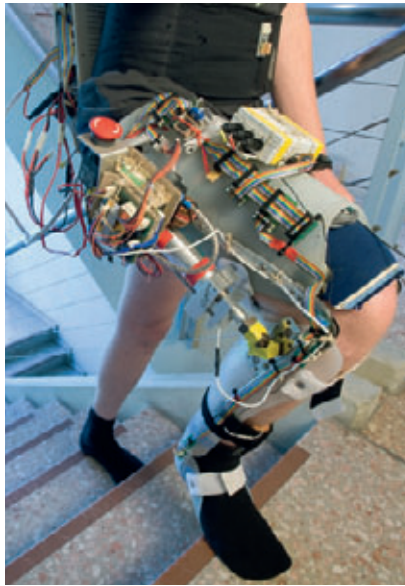
Die Aktivierung der Muskeln durch die Nerven kann anhand von elektrischen Signalen erfasst werden. Sie heißen elektromyographische (EMG-) Signale und werden als Nebenprodukt der Aktivierung abgestrahlt, wandern durch die Muskeln und das Fettgewebe und sind durch auf der Haut platzierte EMG-Sensoren messbar. Vorteilhaft bei der Verwendung von EMG-Signalen ist auch, dass sie etwa 80 bis 120 Millisekunden vor Beginn der Kraftproduktion der Muskeln erfasst werden können. So kann der Computer die Signale schon auswerten und die Unterstützung vorbereiten, bevor der Mensch die Bewegung beginnt.

In unseren Experimenten haben wir uns auf ein Exoskelett konzentriert, das eine Unterstützung im Kniegelenk ermöglicht, da dies essenziell für alltägliche Bewegungen ist. Ein Computer erfasst die EMG-Signale der Oberschen-

kelmuskeln und berechnet aus den Signalen die vom Mensch eigenständig aufgebrachtene Kräfte und das daraus resultierende Drehmoment im Knie. Das Programm multipliziert dieses Drehmoment mit einem einstellbaren Faktor und steuert den Antrieb des Exoskeletts so, dass er das multiplizierte Drehmoment zur Bewegung hinzufügt. Die Bewegung wird also vom Menschen und dem Exoskelett gemeinsam durchgeführt. Der einstellbare Faktor gibt an, wie stark das Exoskelett dem Menschen behilflich sein soll.

Der Knackpunkt dieses Verfahrens ist die Berechnung der Muskelkräfte aus den EMG-Signalen. Diese muss einerseits sehr genau sein, damit sich das System vorhersehbar verhält, andererseits darf die Berechnung aber nicht zu komplex sein, damit sie schnell genug ausgeführt werden kann. Außerdem müssen die Modelle auf den jeweiligen Menschen und seinen körperlichen Zustand angepasst werden. Das wird mit steigender Komplexität des Modells immer aufwendiger.

In der wissenschaftlichen Gemeinschaft wurden viele Modelle des Menschen und seiner Muskeln entworfen. Darauf aufbauend wurde ein Modell entwickelt, das im ersten Schritt aus den gemessenen EMG-Signalen die Aktivierung durch die Nerven abschätzt. Im zweiten Schritt wird aus dieser Aktivierung die Kraft berechnet, die jeder Muskel aufbringt. Hierbei muss die ak-



Mensch und Maschine führen Bewegungen wie Treppensteigen gemeinsam aus.

tuelle Länge der Muskelfasern berücksichtigt werden, denn sie beeinflusst die Kraftproduktion maßgeblich. Dies kann leicht nachvollzogen werden, indem man versucht, seine Oberarmmuskeln bei gestrecktem, bei halb angewinkeltem und bei komplett angewinkeltem Ellbogen anzuspannen. Irgendwo in der Mitte gibt es eine optimale Länge, die einem erlaubt, die größte Kraft zu erzeugen. Jenseits dieser optimalen Länge (kürzer und länger) schwächt sich diese Kraft ab. Mit Hilfe

des Winkels zwischen den Muskelfasern und der Zugrichtung entlang der Sehne wird die resultierende Muskelkraft berechnet, durch Hebelarme in das Gelenkdrehmoment umgerechnet und über alle Muskeln aufsummiert.

UM DIE HÄLFTE ENTLASTET

Je mehr der Träger des Exoskeletts seine Muskeln anspannt (in Erwartung einer anstrengenden Bewegung), desto größer ist das berechnete Drehmoment und auch die Unterstützung durch das Exoskelett: Es arbeitet wie ein Kraftverstärker. Experimente haben gezeigt, dass Alltagsbewegungen, die viel Kraft erfordern, wie das Treppensteigen oder Aufstehen vom Stuhl, sehr sinnvoll unterstützt werden können. Allerdings muss der Mensch in der Lage sein, die zusätzliche Hilfe bewusst und unbewusst mit einzubeziehen, ähnlich wie bei zwei Personen, die gemeinsam eine Kiste tragen: Jeder muss sich auf den Einfluss des anderen einstellen. Je vorhersehbarer dessen Bewegungen sind, desto einfacher wird es.

Beliebig groß lassen sich die Verstärkungen allerdings nicht einstellen. Unsere Experimente haben den Menschen maximal bis zur Hälfte entlastet. Die Verstärkung kann auch noch höher eingestellt werden, sie wird aber dann kritisch, wenn durch die hohen Unterstützungskräfte des Exoskeletts die resultierende Bewegung schneller als erwartet ausgeführt wird. Ein ungeübter Benutzer kann sie dann nicht mehr kontrollieren: Die Informationsverarbeitung im menschlichen Körper – von der Erfassung der Bewegung und der Fortleitung über die Nerven bis hin zur Verarbeitung in den entsprechenden Neuronen und der anschließenden Rückleitung zu den Muskeln – nimmt zuviel Zeit in Anspruch. Der Mensch ist hier der begrenzende Faktor.

Diese enge Interaktion zwischen dem Menschen und der Maschine wird auch in Zukunft die Wissenschaft beschäftigen. Die Eigenschaften und Probleme dieser Interaktion kennenzulernen und zu verstehen öffnet viele Tore für weitere Entwicklungen. Und Assistenzsysteme für den Menschen werden wichtiger denn je. ■



Die Kraftproduktion der Muskeln hängt von der Länge der Muskelfasern ab, also hier davon, wie stark der Arm angewinkelt ist. Das Exoskelett wird nach dieser Größe eingestellt.



PLANETENENTSTEHUNG AUF DER RAUMSTATION

Die Entstehung von Planeten ist ein Wettlauf mit der Zeit: Nur kurz steht ausreichend Materie in der Umgebung junger Sterne dafür zur Verfügung. Ein missglücktes Experiment auf der Raumstation ISS lieferte wichtige Daten dazu.

von Felicitas Mokler

SEIT DER ENTDECKUNG des ersten extrasolaren Planeten 1995 ist inzwischen die Existenz von über 300 Planeten außerhalb unseres eigenen Sonnensystems nachgewiesen. Derzeit erhöht sich diese Zahl sogar alle paar Wochen um einen neuen Planeten bei einem fremden Stern!

Eine Erkenntnis von philosophischer Tragweite, bringt dies doch eine Veränderung des Standpunktes unse-

res eigenen Daseins im Universum mit sich. Auch von rein wissenschaftlicher Seite wird dadurch die Fragestellung nach der Entstehung von Planetensystemen aus einem sehr viel umfassenderen Blickwinkel notwendig. Schon Immanuel Kant und Pierre Simon de Laplace stellten im 18. Jahrhundert die Hypothese auf, dass die Planeten um unsere Sonne aus einem sogenannten präsolaren Nebel entstanden sind. Die-

ser Materienebel soll jenen Raum um die junge Sonne ausgefüllt haben, in dem sich heute die Planeten befinden.

Heutzutage können Astronomen mit hochsensiblen Teleskopen tatsächlich in solche Kinderstuben von Planeten blicken. Um sehr junge Sterne, die eine ähnliche Masse besitzen wie unsere Sonne, aber gerade erst zu leuchten begonnen haben, finden sich häufig Materiescheiben, die von der Stern-

Blick ins All: Mit hochempfindlichen Teleskopen können Astronomen in die Kinderstuben von Planeten schauen. Dieses Spiegelteleskop genügt dafür allerdings nicht.



Fotos: A. Griesch für bdw

entstehung übrig geblieben sind. Diese zirkumstellaren oder protoplanetaren Scheiben, wie sie heute üblicherweise genannt werden, können sich bis zu einigen 100 Astronomischen Einheiten

(AE) um das Zentralgestirn ausdehnen. Das ist hundertmal so weit wie die Entfernung zwischen Sonne und Erde. Die Dicke dieser Scheiben liegt aber in Sternnähe deutlich unterhalb 1 AE und am äußeren Rand bei einigen wenigen AE, da sie durch die Rotation stark abgeflacht sind. Den Hauptteil der Materie in diesen protoplanetaren Scheiben stellen Wasserstoff und Helium in Gasform dar. Nur zwei Prozent der Masse bestehen aus schwereren Elementen wie zum Beispiel Kohlenstoff- und Eisenverbindungen sowie Silikaten, die in mikrometerkleinen (dies entspricht einem tausendstel Millimeter) Staubpartikeln gebunden sind. Gerade diese Staubmaterie stellt die Grundlage für die Entstehung erdähnlicher Planeten und der Kerne von Gasplaneten wie zum Beispiel Jupiter oder Saturn dar. Bemerkenswert: Die Materie ist in zirkumstellaren Scheiben durchschnittlich nicht dichter als unsere Erdatmosphäre in 100 Kilometern Höhe oder 100 Millionen Mal dünner als diese in Bodennähe!

Dass in solch einer Umgebung Planeten entstehen können, wird erst

durch das komplexe Zusammenspiel verschiedener physikalischer Prozesse ermöglicht, die in einer protoplanetaren Scheibe ablaufen. Doch bis ins letzte Detail konnten die Wissenschaftler bisher noch nicht alle Fragen, die die Planetenbildung aufwirft, zufriedenstellend klären. Ein zentrales Problem liegt in der Unstimmigkeit zwischen der Lebensdauer einer protoplanetaren Scheibe und der Wachstumszeitskala für die Staubmaterie. Wie sowohl Beobachtungen als auch theoretische Berechnungen zeigen, liegt die Zeitskala für die Existenz von zirkumstellaren Scheiben bei ein bis zehn Millionen Jahren. Gegenüber unserer irdischen Zeitvorstellung mag dies wie eine Ewigkeit anmuten, und dennoch wirken die bisher bekannten Wachstumsmechanismen für Staub nicht rasch genug, um in dieser Zeit winzige Sandkörner zu Planeten wachsen zu lassen.

Wenn die Wissenschaftler ausrechnen, wie sich aus mikrometerkleinen Staubteilchen Planeten bilden, stellen sie sich dies in drei Entwicklungsstufen vor: Zunächst wachsen die winzigen Staubteilchen in der Scheibe, indem sie

DR. FELICITAS MOKLER

- > 1976 geboren in München
- > 1996 Abitur
- > ab 1996 Studium der Physik am Imperial College in London, an der Universität de La Laguna, Teneriffa und an der Ludwig-Maximilians-Universität in München
- > 2002 Diplom in Physik
- > Oktober 2002 bis Juli 2007 Doktorandin am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching
- > 12.7.2007 Promotion zum Dr. rer. nat.
- > seit 2007 Wissenschaftliche Angestellte am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching

fmokler@mpe.mpg.de
www.mpe.mpg.de/theory/plasma-crystal/index.html

aufgrund ihrer ungeordneten Eigengeschwindigkeiten gelegentlich aufeinander treffen und dann aneinander haften bleiben. Wenn diese Staubagglomerate schwer genug sind, sedimentieren sie und lagern sich in der Mittelebene der protoplanetaren Scheibe ab. Ist die Staubmaterie dort ausreichend verdichtet, nimmt die Eigengravitation überhand und es bilden sich Klumpen von vielen Kilometern Durchmesser. Diese stellen die Kerne von Planeten dar. Sie werden auch Planetesimale genannt. Planetesimale sind bereits so massereich, dass sie durch ihre Gravitation weiter Staub und Gas anziehen. So können sich entweder feste, erdähnliche Planeten oder riesige Gasplaneten entwickeln. Bevor es jedoch zu der notwendigen Sedimentation und Verdichtung der Staubmaterie kommen kann, müssen die Staubagglomerate schon auf einige Dezimeter bis Meter angewachsen sein. Denn wenn sie kleiner sind, werden sie durch turbulente Gasströmungen – ähnlich wie Kieselsteine in starker Meeresbrandung – immer wieder aufgewirbelt.

WIE IN DER ACHTERBAHN

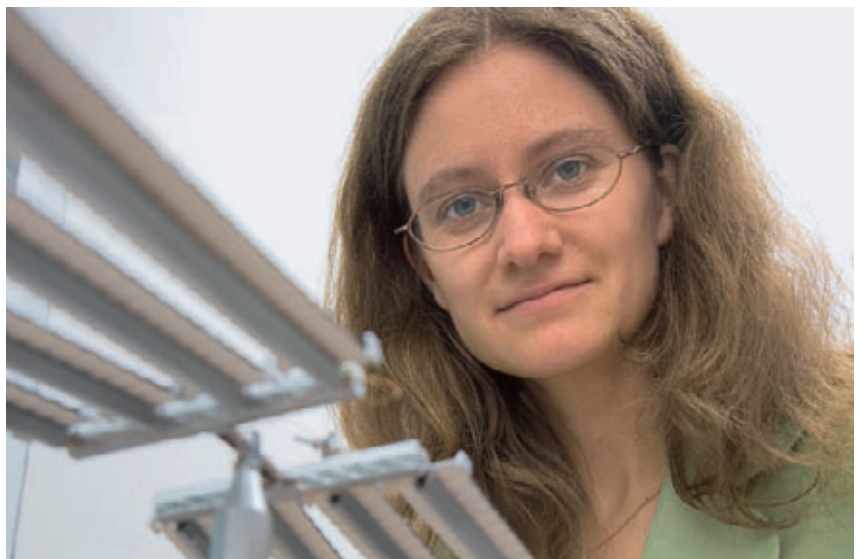
Zwar wird die Materie in der zirkumstellaren Scheibe durch die während der Rotation wirkende Fliehkraft, die der Schwerkraft entgegenwirkt, davon abgehalten, direkt auf den Stern zu fallen. Dies ist derselbe Effekt, der es uns ermöglicht, ein Looping in der Achterbahn zu überstehen, ohne zu Boden zu stürzen. Andererseits kommt es aber durch die Rotation zu innerer Reibung zwischen Staub und Gas und innerhalb des Gases. Hierbei verliert die Materie in der Scheibe Bewegungsenergie und die Rotation verlangsamt sich. Dadurch wird auch die Fliehkraft kleiner: sie kann der Gravitation nicht mehr standhalten und die Materie driftet langsam aber stetig auf den Stern. Und dies geschieht zu schnell, als dass die Staubaggregate die für die Sedimentation notwendige Größe erreichen können.

Auf genau dieses Problem, nämlich dass zu viel Materie für die Planetenentstehung verloren geht, war ich ebenfalls in den Modellrechnungen zu protoplanetaren Scheiben zu Beginn

meiner Doktorarbeit gestoßen. Auf welche Weise war dieses Dilemma zu lösen? Kurioserweise brachte ein eigentlich misslungenes Experiment auf der Internationalen Raumstation Licht ins Dunkel. Und ich sollte das große Glück haben, an den Auswertungen dieser Experimentdaten beteiligt zu sein.

Der russische Kosmonaut Yuri Baturin hatte alle Vorbereitungen für den anstehenden Versuch abgeschlossen. Mehrmals schon hatte er Durchläufe für das Plasmakristallexperiment getätigt, das er auf der Raumstation für die Arbeitsgruppe um Professor Gregor Morfill vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik durchführte. Er betätigte einen Schalter, um in einem mit extrem verdünntem Edelgas gefüllten Quarzglasbehälter eine hochfrequente Wechsellspannung anzule-

genannten Plasmakristall bilden. Die Physiker benutzen solche Plasmakristalle, um ähnliche Phänomene wie in Festkörpern zu studieren. Der große Vorteil gegenüber gewöhnlichen Kristallen: Die einzelnen Komponenten der Plasmakristalle lassen sich mit bloßem Auge auflösen. Allerdings können Plasmakristalle nur unter Schwerelosigkeit erzeugt werden. In einem Experiment auf der Erde würden die Staubteilchen rasch auf den Boden der Kammer sinken und der Plasmakristall würde zerstört. Daher bieten die Einrichtungen auf der Raumstation beste Voraussetzungen für diese Untersuchungen. Der Blick in die Experimentierkammer aber versetzte Yuri Baturin in Verwunderung: Diesmal wirbelten die Staubteilchen wild durcheinander und es bildete sich ein Staubklumpen aus einem be-



Am Modell der Raumstation ISS kann sich Felicitas Mokler anschauen, wo die Experimente für ihre Dissertation gemacht wurden.

gen und das Gas zu einem Plasma zu ionisieren. Anschließend wurden mikrometerkleine Plastikstaubkügelchen in die Experimentierkammer durch ein Sieb eingestreut. Die Staubteilchen sollten sich durch die freien Elektronen im Plasma negativ aufladen. Dann würden sie sich aufgrund der elektrostatischen Abstoßung in regelmäßigen Abständen zueinander anordnen und einen so-

trächtlichen Anteil der in der Kammer vorhandenen Staubpartikel heraus. Die übrigen Teilchen wuchsen nur zu kleineren Clustern heran oder blieben in ihrer Größe völlig unverändert.

In diesem Moment war dem Kosmonauten keineswegs klar, dass dieser unförmige Staubklumpen die Theorie der Planetenentstehung ein ganzes Stück weiterbringen sollte. Dennoch wieder-



Planetenentstehung im Griff: Dank der Erkenntnisse von Felicitas Mokler und ihren Kollegen weiß man nun mehr darüber, auf welche Weise Planeten wie der Saturn entstanden sind.

holte er das Experiment einige Male – geleitet von dem Grundsatz, dass die Ergebnisse eines wissenschaftlichen Experiments reproduzierbar sein müssen, und natürlich auch aus reiner Neugier. Er machte immer wieder dieselbe Beobachtung von ungeordnetem Staub und jeweils einem größeren Klumpen. Es stellte sich heraus, dass bei diesem gesamten Experimentzyklus das Plasma aufgrund einer Fehlfunktion nicht gezündet worden war. Der Staub war also fälschlicherweise in neutrales Gas eingeführt worden, was sich für uns als glücklicher Umstand erweisen sollte.

Wie wir bei der Auswertung der Experimentdaten herausfanden, waren die Staubteilchen dennoch aufgeladen, und zwar nicht rein negativ, sondern sowohl negativ als auch positiv zu gleichen Teilen. Die Staubkügelchen hatten beim Einschütteln gegenseitig Ladungen ausgetauscht. Schließt man nun diese Ergebnisse in die Theorie des Staubwachstums mit ein, zeigt sich, dass geladene Staubteilchen unter bestimmten Bedingungen zeh- bis hunderttausend Mal rascher wachsen als neutraler Staub. Eine der Bedingungen dafür ist, dass der Staub in einem System zwar sowohl positive als auch negative Ladung trägt, das

Gesamtsystem aber neutral ist, eben so wie im vorangehenden Experiment gemessen. Außerdem muss die mittlere Bewegungsenergie der Teilchen in dem System ungefähr gleich der mittleren potenziellen elektrischen Energie der Teilchen sein. Auch dies traf im Experiment zu. So kann die elektrostatische Abstoßung zweier gleichartig geladener Teilchen, die sich aufeinander zubewegen, überwunden werden. Die Ladungen auf ihren Oberflächen verschieben sich dann derart, dass eine anziehende Kraft zwischen den beiden Teilchen wirkt: Es wird ein Dipol erzeugt. Diese Dominanz der elektrostatischen Anziehung bewirkt das stark beschleunigte Wachstum der Staubteilchen.

Bei der Modellierung der Planetenentstehung hatte man aber bisher nur neutrale Staubteilchen berücksichtigt. Jegliche Ladung war vernachlässigt worden, und das, obwohl es deutliche Hinweise darauf gibt, dass die Materie in zirkumstellaren Scheiben auch aufgeladen sein kann. Was lag nun näher, als die Erkenntnisse aus jenen allerneuesten Experimenten auf das Staubwachstum bei der Planetenentstehung zu übertragen?

Also habe ich anhand einer Modellrechnung überprüft, ob ein durch Aufladung von Staubpartikeln beschleunigtes Wachstum auch in protoplanetaren Scheiben stattfinden kann. Dabei zeigte sich erstmalig, dass in bestimmten Regionen dieser Entstehungstätten von Planeten ladungsdominiertes Staubwachstum sehr wirksam sein kann. Dort entstehen dann innerhalb weniger Jahre Aggregate mit Durchmessern von einigen Dezimetern bis Metern. Dies ist aber genau jene Größe, ab der verhindert wird, dass die Staubmaterie in der Mittelebene der Scheibe wieder aufgewirbelt wird. Und dies geschieht in nur einem kurzen Augenblick, verglichen mit der Lebensdauer der Scheibe! Auf diese Weise bleibt ausreichend Zeit, dass sich die Materie in der Mittelebene der Scheibe verdichtet und durch die eigene Schwerkraft zu Planeten formt. Der Wettlauf mit der Zeit kann also dank Staubaufladung zugunsten der Planetenentstehung gewonnen werden. ■

GEFÄHRLICHE REISE

Felicitas Mokler im bdw-Gespräch

● **Die Besonderheit Ihrer Arbeit: Die Fehler des Astronauten Yuri Baturin wurden zur Basis Ihrer Berechnungen. Wie kam der Kontakt zustande?**

Der Kontakt zwischen den russischen Kosmonauten, zu denen auch Yuri Baturin gehört, und unserer Arbeitsgruppe bestand bereits durch die Zusammenarbeit bei anderen Plasmakristall-Experimenten. Wahrscheinlich hätte ich auch ohne seine Daten über Planetenentstehung promoviert.

● **Würden Sie gerne mal die Raumstation ISS besuchen?**

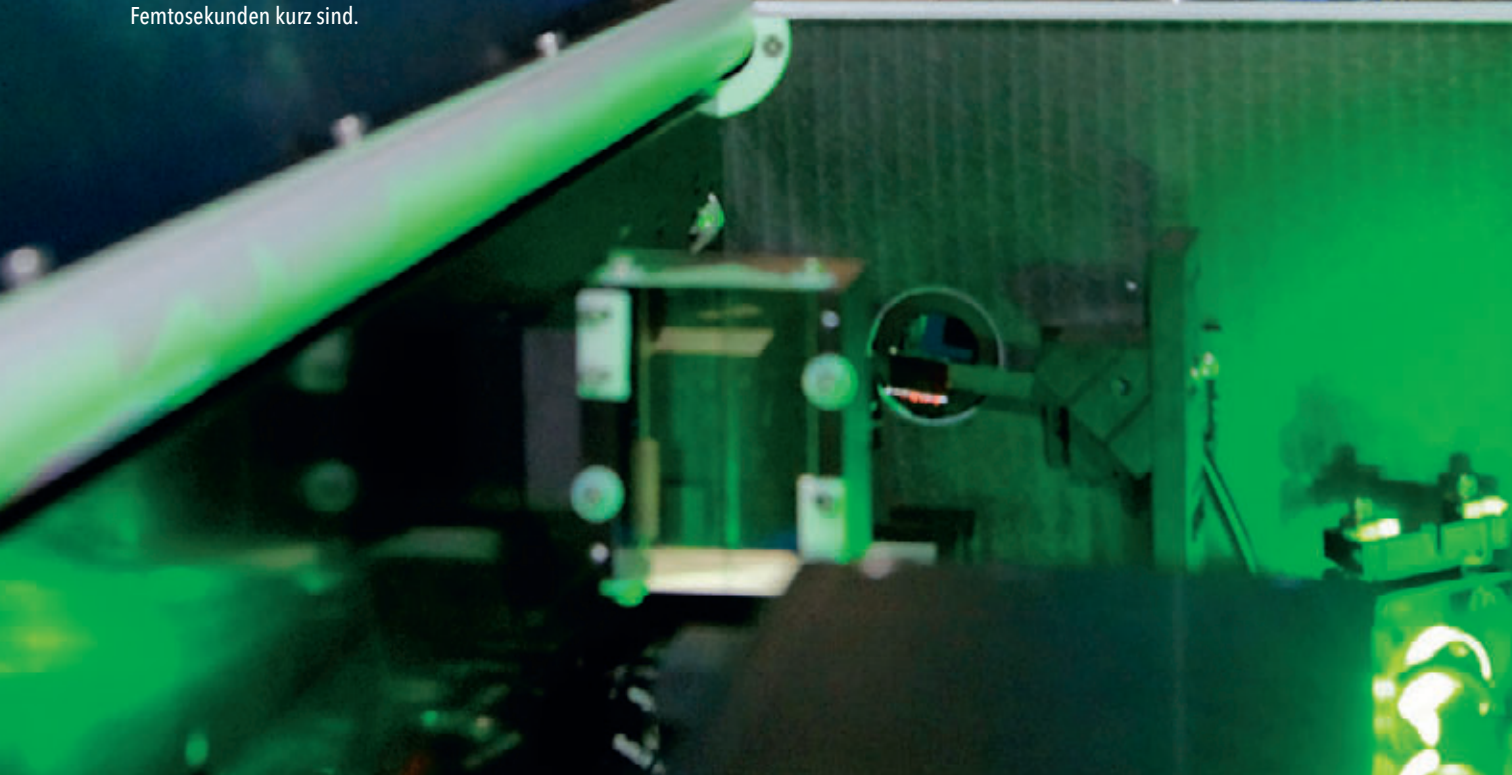
Einerseits ja, da ich von den Aufnahmen unserer Erde aus dem All immer tief berührt bin. Andererseits wäre mir der Flug dorthin zu gefährlich.

● **Wie kamen Sie darauf, Physik in London zu studieren?**

Nach dem Abitur wollte ich hinaus in die Welt und richtig Englisch lernen. Außerdem hatte ich gehört, dass in Großbritannien der Kontakt zwischen Studenten und Dozenten viel enger ist als in Deutschland. Inzwischen ist dies aber an den meisten deutschen Unis auch so.



Den grünen Laser benötigt Anne Julia Stähler, um Lichtblitze zu erzeugen, die nur wenige Femtosekunden kurz sind.



UNSTERBLICHE ELEKTRONEN

Computer sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Durch die Kontrolle einzelner Elektronen sollen die Computerchips von morgen noch kleiner und leistungsstärker werden.

von Anne Julia Stähler

WÄHREND DER PERFEKTE URLAUB wie im Fluge vergeht und die zwei herbeigesehnten Wochen wie Tage erscheinen, erlebt der Patient den zweiwöchigen Krankenhausaufenthalt wie mehrere Jahre. Offenbar hängt die Wahrnehmung von Zeit, oder vielmehr vom Verstärken der Zeit, erheblich von den äußeren Bedingungen ab. Besonders schwierig wird es jedoch, sich Zeitspannen vorzustellen, für die es keinen Vergleich aus dem Alltag gibt. Lassen sich Jahrhunderte noch relativ gut in Generationen messen, ist schon der Rückblick über zehntausende Jahre zum Neandertaler schwer zu erfassen. Spätestens das hohe Alter der Erde ist mit 4,5 Milliarden Jahren kaum vorstellbar. Ganz ähnlich verhält es sich auch mit den Zeitskalen, die auf molekularer oder atomarer Ebene relevant sind. So laufen etwa Ladungstransferprozesse, auf denen die Funktionsweise von Solarzellen beruht, innerhalb einiger Femtosekunden (= 0,000000000000001 Sekunden) ab. Hierbei werden Ladungen, beispielsweise Elektronen, vom Ort A an den Ort B bewegt (transferiert). Das Verständnis vom Ladungstransfer spielt auch für die Fortentwicklung von Computerchips eine große Rolle: Die Ausmaße ihrer Kernbauteile, der Transistoren, konnten in der Vergangenheit stetig reduziert werden, so dass die Chips nicht nur kleiner, sondern auch leis-

tungsstärker wurden. Unglücklicherweise wird dieser Fortschritt in den nächsten Jahren an physikalische Grenzen stoßen. Neue Konzepte, wie zum Beispiel molekulare Transistoren, werden benötigt, um eine weitere Verbesserung unserer Computer zu erreichen, da sich die konventionellen Transistoren bald nicht mehr weiter verkleinern lassen.

Ein herkömmlicher Transistor funktioniert etwa wie ein Staudamm: Ist er geschlossen, staut sich das Wasser auf der Seite A (Kollektor) an und der Wasserstand auf der Seite B (Emitter) liegt auf einem niedrigeren Niveau. Erhält der Staudammwart (Basis) ein bestimmtes Signal, öffnet er den Damm

DR. ANNE JULIA STÄHLER

- > 1978 geboren in Berlin
- > 1998 Abitur
- > ab 1998 Studium der Physik an der Freien Universität Berlin
- > 2004 Diplom in Physik
- > 2004 bis 2007 Doktorandin an der Freien Universität Berlin
- > 5.7.2007 Promotion zum Dr. rer. nat.
- > seit 2008 Postdoc an der University of Oxford, Großbritannien

j.staehler1@physics.ox.ac.uk
www.physik.fu-berlin.de/~femtoweb

und das Wasser kann fließen. Ganz ähnlich sammeln sich im Transistor auf der Kollektorseite A Elektronen an, solange die Basis kein Signal erhält. Wird der Transistor geschaltet (geöffnet), können sie zur Emitterseite B fließen. Grundvoraussetzung für einen funktionstüchtigen Transistor ist es, dass die Seiten A und B durch eine undurchdringliche Barriere (Staudamm) getrennt sind, denn Informationen werden in einem Computer binär verarbeitet: Ein Transistor ist entweder auf oder zu, was vom PC als „1“ oder „0“ interpretiert wird. Im Fall eines undichten Staudamms wäre solch eine eindeutige Zuordnung nicht mehr möglich. Die stete Verkleinerung der Transistoren auf wenige millionstel Millimeter (Nanometer) führt dazu, dass die Barriere, die die Seiten A und B voneinander trennt, immer durchlässiger für Elektronen wird. Quantenmechanische Effekte treten auf, die zu sogenannten Leckströmen führen oder, in anderen Worten, der Staudamm wird undicht. Die durchschnittliche Zeit, die das Wasser auf der Seite A des Staudamms gehalten werden kann, ist eine charakteristische Größe für die Durchlässigkeit des Damms und abhängig von seiner Beschaffenheit (zum Beispiel Dicke). Im Fall der Elektronen bezeichnet man diese Zeit als ihre Lebensdauer. Sie beschreibt, wie lange ein durchschnittliches Elektron von der Barriere davon abgehalten wird, von der Seite A zur Seite B zu wechseln.

In meiner Arbeit beschäftigte ich mich eingehend mit solchen Elektronentransferprozessen, um über ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse an der Weiterentwicklung von molekularen Transistoren mitzuwirken. So konzentrierte mein Vorgänger Cornelius Gahl und ich uns unter anderem auf den Elektronentransfer an Eis-Metall-Grenzflächen, genauer gesagt, den Transfer von Elektronen durch extrem dünne Eisschichten (schmäler als zwei millionstel Millimeter) in ein Metall. Hierbei entspricht die Eisschicht dem oben erwähnten Staudamm und das Metall dem Fluss, der hinter dem Damm liegt. Die Messung der Lebens-

ÜBUNG DURCH LEHRE

Anne Julia Stähler im bdw-Gespräch

- **Laien Ihre Forschung an Molekülen zu vermitteln, ist schwierig. Haben Sie Erfahrung damit?**

Nein, über meine Arbeit habe ich bisher nur in Fachzeitschriften geschrieben. Ich habe aber während meiner Lehrtätigkeit an der Freien Uni Berlin viele Erstsemester in Physik und Medizinstudenten im Praktikum betreut – da habe ich Übung bekommen, die Materie zu erklären.

- **Fühlen Sie sich im Fach Physik in einer Männerdomäne oder ist das ein veraltetes Klischee?**

Klar, eine Männerdomäne ist es nach wie vor, aber dadurch fühle ich mich nicht benachteiligt. Ich finde es nur ein bisschen schade.

- **Knüpft Ihre jetzige Tätigkeit in Oxford an Ihr Dissertationsthema an?**

Sowohl die Oberflächenphysik, die ich während meiner Promotion gemacht habe, als auch meine derzeitige Forschung an Supraleitern gehören zur Festkörperphysik. Und ich arbeite nach wie vor mit „zeit aufgelöster Spektroskopie“, jedoch unterscheiden sich die Experimente erheblich. So kann ich etwas Neues lernen und gleichzeitig auf mein Wissen zurückgreifen, ohne mich zu früh zu spezialisieren.

dauer der Elektronen in der Eisschicht (das heißt die mittlere Zeit, die sie vom Staudamm zurückgehalten werden) ist eine experimentelle Herausforderung, da diese nur winzige Bruchteile von Sekunden (Femtosekunden) beträgt. Ihre Bestimmung durch bloße Messung der Änderung der elektrischen Spannung zwischen Seite A (Eisschicht) und Seite B (Metall) ist nicht realisierbar. Glücklicherweise ist es heute mit Hilfe von ausgeklügelten Lasern möglich, sehr kurze Lichtblitze zu erzeugen, deren Dauer vergleichbar ist mit der Lebensdauer von Elektronen an Grenzflächen. Mit einem solchen Laserpuls wird im Experiment das eisbedeckte Metall beleuchtet, was dazu führt, dass Elek-

tronen in die Eisschicht „geschossen“ werden. Dieser erste Laserpuls ist in gewisser Weise der Startschuss für das eigentliche Experiment: Sobald Elektronen im Eis sind, beginnen auch schon die ersten, sich in das Metall zurückzutransferieren, weil die Eisschicht keine unüberbrückbare Barriere für sie darstellt (wie der undichte Damm).

WIE SALZ IM NUDELWASSER

Parallel zum Ladungstransfer findet noch ein weiterer Prozess statt, die sogenannte Solvatisierung der Elektronen. Vom lateinischen Wort *solvere* (= lösen) abgeleitet, beschreibt der Begriff Solvatisierung das Auflösen der Elektronen im Eis, ganz ähnlich wie sich Salz im Nudelwasser auflöst. Dahinter steckt eine wichtige Eigenschaft des Wassermoleküls, welches an einem Ende eher positiv, am anderen eher negativ geladen ist. Das plötzliche Auftauchen der negativen Ladung des Elektrons im Eis führt dazu, dass sich die Wassermoleküle mit ihrem positiven Ende zum Elektron ausrichten, weil sich gegensätzliche Ladungen anziehen. Durch diese Umorientierung kommt es zu einem erhöhten „Wohlfühleffekt“ des Elektrons, denn zuvor waren noch etliche negative und damit abstoßende Enden der Moleküle auf es gerichtet. Diese Solvatisierung der Elektronen hat zur Folge, dass sie länger in der Eisschicht bleiben, da die Umorientierung der Moleküle die Barriere zwischen Elektronen und Metall verstärkt. Anders ausgedrückt, wird der Staudamm immer dichter, je länger der Stausee gefüllt ist. Der Fluss spült nach und nach Kies an den Staudamm, so dass die undichten Stellen mit der Zeit gestopft werden.

Beide Prozesse, der Elektronentransfer und die Solvatisierung, werden im Experiment mit Hilfe eines zweiten Laserpulses beobachtet. Dieser zweite Lichtblitz trifft um ein Zeitintervall versetzt nach dem ersten auf die Eis-Metall-Grenzfläche und „fotografiert“ den Status quo der Elektronen, ihre Anzahl und den Grad ihrer Solvatisierung. So wie ein Videofilm aus einer Aneinanderreihung von Fotos besteht, lässt sich nun auch



Transistoren in Computerchips sind mit kleinen Staudämmen vergleichbar, die - wie der Wasserbeutel - manchmal undicht sein können.

das gesamte „Leben“ der Elektronen verfolgen: Ändert man das Zeitintervall zwischen erstem und zweitem Laserpuls, „filmt“ man das Verhalten der Elektronen in Echtzeit. Auf diese Weise kann man zeigen, wie die Elektronen nach ihrem Einspeisen in die Eisschicht nach und nach durch die Wassermoleküle stabilisiert werden und gleichzeitig kontinuierlich in das Metall zurückkehren, bis schließlich nach einer Pikosekunde (einer billionstel Sekunde) keine Elektronen mehr im Eis sind.



Die Erkenntnisse von Anne Julia Stähler in der Oberflächenphysik könnten der Computerbranche dienlich sein. Hier spiegelt sie sich in einer Festplatte.

Solch kurze Lebensdauern sind natürlich nicht ausreichend, bedenkt man, dass die Barriere eines Transistors genügend dicht sein muss, um eine eindeutige Zuordnung seines Zustands (offen/geschlossen) zu ermöglichen. In meiner Arbeit konnte ich zeigen, dass die Beschaffenheit der Molekülschicht, das heißt die Art, Anzahl und Anordnung der Moleküle, die zwischen dem Elektron und dem Metall liegen, großen Einfluss auf die Lebensdauer der Elektronen hat. Bemerkenswerterweise ändert sich das Verhalten der Elektronen besonders stark, wenn bestimmte Modifikationen der Anordnung der Wassermoleküle vorgenommen werden. So lässt sich die Lebensdauer der Elektronen durch Kristallisierung der Eisschicht, das heißt durch hohe Ordnung in der Struktur des Eises, von einigen hundert Femtosekunden auf mehrere Minuten (!) verlängern. Das Einbringen dieser Elektronen in die Eisschicht und die darauf folgende Solvatisierung findet nach wie vor innerhalb weniger Femtosekunden statt, ist aber so viel effizienter, dass die Elektronen nun minutenlang in der Schicht überleben. In gewisser Weise werden die Löcher im Staudamm deutlich besser und schneller gestopft, so dass er dicht ist, bevor

ein nennenswerter Anteil der Elektronen hindurchfließen kann. Dieses Ergebnis ist äußerst bemerkenswert: Die Lebensdauer der Elektronen erhöht sich durch die Kristallisierung um ein 100.000.000.000.000-Faches (100 Billionen), vergleichbar mit einer Eintagsfliege, die zwanzigmal länger lebt als das Universum.

Zusammenfassend bleibt zu bemerken, dass selbst extrem dünne Molekülschichten dazu in der Lage sind, Elektronen äußerst effektiv von einer Metallgrenzfläche fernzuhalten, wenn ihre Struktur den Anforderungen entsprechend gewählt wurde. Diesen Vorteil gegenüber herkömmlichen Isolator- oder Halbleiterschichten in klassischen Transistoren verdanken sie dem Prozess der Solvatisierung, der dazu führt, dass sich der Staudamm nach und nach selbst verstärkt. Die Realisierung von Computerchips aus Eis ist allerdings höchst unwahrscheinlich, nicht zuletzt, weil die oben beschriebenen Experimente Temperaturen unter minus 200 Grad Celsius voraussetzen. Dessen ungeachtet zeigen die beschriebenen Untersuchungen jedoch, dass eine weitere Verbesserung von Computerchips mittels molekularer Schaltelemente nicht nur prinzipiell möglich, sondern äußerst vielversprechend ist. ■

SPRINGENDE GENE KLÄREN DIE SÄUGER-EVOLUTION

Mithilfe „fossiler“ Gene haben Forscher der Universität Münster die Frühgeschichte der Säugetiere enträtselt. Überraschend: Der Mensch gehört zu den Pelzflatterern und Spitzhörnchen.

von Jan Ole Kriegs

DIE VERWANDTSCHAFT des Menschen zu unterschiedlichen Tiergruppen steht schon lange im Fokus wissenschaftlicher Diskussionen. Mehr als nur reiner Wissensdurst zählen dabei oftmals medizinische Interessen. Zum Verständnis seiner eigenen Biologie bedient sich der Mensch seit Langem vergleichender Studien an sogenannten Modellorganismen: allen voran die Maus, gefolgt von Ratte, Kaninchen, Rhesusaffe und Hund, neuerdings auch vom südostasiatischen Spitzhörnchen. Zur Beurteilung der Übertragbarkeit von Ergebnissen solcher Studien auf den Menschen ist das Wissen um unseren Stammbaum eine entscheidende Grundlage.

Seit Darwins Entwurf der Evolutionstheorie haben Generationen von Wissenschaftlern die Entwicklung der Arten zu rekonstruieren versucht. So beherbergen unterschiedlich alte Erdschichten Fossilien längst vergangener Lebensformen. Ein wichtiges Darwin'sches Prinzip dabei: Die Anpassung an bestimmte Lebensbedingungen durch natürliche Auslese führt in den verschiedenen Linien des Stammbaums zur Entstehung neuer Merkmale. Aus solchen Merkmalen des Körperbaus versuchen Morphologen und Paläontologen chronologisch die Entstehung der Lebewesen nachzuzeichnen. Das Prinzip wird jedoch oft auch zum Problem: So besitzen die Placentalia, eine Gruppe innerhalb der Säugetiere, als gemeinsames Merkmal

einen Mutterkuchen (Plazenta). Die Plazenta ist also Zeugnis eines gemeinsamen evolutionären Ursprungs. Problematisch wird es für die Forscher jedoch, wenn ähnliche Umweltbedingungen zur Entwicklung sehr ähnlicher Merkmale führen. So ist die Evolution des Mutterkuchens bei den Placentalia und den lebend gebärenden Haien unabhängig voneinander erfolgt. Der Morphologe kann also selten sicher sein, ob ein gemeinsames Merkmal wirklich auf einen gemeinsamen Ursprung zurückgeht. Derartige Stammbäume lassen daher oft viele Fragen offen.

Seit wenigen Jahrzehnten helfen nun molekulare Techniken, die Struktur der Stammbäume durch Vergleich des Erbgutes zu ergründen. Stellt man sich ein solches Genom als ein Buch mit Bauanleitungen für den gesamten Organismus vor, so vergleicht die Methode die Schreibweisen einzelner oder mehrerer Wörter. Je näher zwei Arten miteinander verwandt sind, desto ähnlicher werden die Wörter buchstabiert. Die Wörter – zumeist Gene oder Teile von Genen – sind bei allen Lebewesen im Vierbuchstaben-Alphabet der Basen Adenin (A), Cytosin (C), Guanin (G) und Thymin (T) auf die fadenförmigen Chromosomen geschrieben, die das Erbgut bilden. Bei der Sequenzanalyse wird für jedes „Wort“ die Folge der Buchstaben bestimmt. Die Grundlage der Methode: die Buchstaben werden selten, aber regelmäßig miteinander

vertauscht. Solche Punktmutationen werden weitervererbt und kennzeichnen zukünftig alle Nachfahren einer Gründerart, in deren Erbgut eine solche Mutation erfolgt ist. Haben beispielsweise Mensch und Schimpanse an einer Position einen anderen Buchstaben als Gorilla und alle anderen Primaten, so nimmt man an, dass die Mutation im

DR. JAN OLE KRIEGS

- > **1977** geboren in Werne an der Lippe
- > **1997** Abitur
Zivildienst (Institut für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“)
- > **ab 1998** Studium der Biologie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- > **2004** Diplom in Biologie
- > **2004 bis 2007** Doktorand am Institut für Experimentelle Pathologie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- > **25.5.2007** Promotion zum Dr. rer. nat.
- > **Mai 2007 bis August 2008**
Postdoc am Institut für Experimentelle Pathologie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- > **Seit September 2008** Wirbeltierzoo-
loge am LWL-Museum für Naturkunde
in Münster

kriegs@uni-muenster.de
<http://zmbe.uni-muenster.de/expath/>



Großes Familientreffen

im LWL-Museum für Naturkunde in Münster: In der Sammlung mit einer Million Präparaten sitzt Jan Ole Kriegs mit entfernten Verwandten zusammen.

gemeinsamen Vorfahren dieser beiden Arten aufgetreten ist. Folglich sind Mensch und Schimpanse näher miteinander verwandt als jeder von beiden mit einer anderen Primatenart. Eine solche Punktmutation kann jedoch auf einem anderen Ast des Stammbaums unabhängig davon noch einmal auftreten oder es kann zu einer Rückmutation kommen. Hierbei wird der Buchstabe, der in einem jüngeren Vorfahren erworben wurde, zu dem Buchstaben des älteren Vorfahren rückgetauscht. Ähnlich wie bei morphologischen Merkmalen besteht daher ein Datensatz einer Sequenzanalyse aus einer Mischung stammesgeschichtlich informativer und irreführender Daten. Je längere Zeiträume der Evolution untersucht werden, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit solcher irreführender Mutationen im Datensatz, wodurch das Risiko wächst, einen falschen Stammbaum zu rekonstruieren.

RAUSCHEN IN DEN DATENSÄTZEN

„Nach einigen Millionen Jahren ist bei kleineren Datensätzen daher eine ‚Rauschzone‘ erreicht, wenn nämlich die Zahl der irreführenden Mutationen die der stammesgeschichtlich informativen übersteigt. Das macht eine Stammbaumrekonstruktion praktisch unmöglich. Es ist eben nur ein Vierbuchstaben-Alphabet“, sagt Jürgen Brosius, Direktor des Instituts für Experimentelle Pathologie der Universität Münster. Die Evolution der Säugetiere wurde deshalb bislang anhand einer Vielzahl großer Sequenzdatensätze untersucht. Die Struktur junger Äste und ihrer Zweige, wie beispielsweise die Verwandtschaftsbeziehungen innerhalb von Gattungen oder Familien, lassen sich dabei sehr gut ergründen. Die Frage, wie sich etwa einzelne Familien zu Ordnungen oder diese zu den größten Ästen des Stammbaums gruppieren, ist jedoch kaum zu beantworten. Die Ergebnisse widersprechen sich in vielen Punkten. Von Studie zu Studie, von Gen zu Gen, von Fossil zu Fossil unterscheiden sich die Säugetier-Stammbäume gewaltig. Je nach Methode wurden den Primaten mal die Hun-



Mensch und Elefant sind nur im Allwetterzoo Münster dicht beisammen. Evolutionär gehören sie auf weit entfernte Äste des Säugetier-Stammbaums.

de, mal die Meerschweinchen oder gar die Schweine nah gestellt.

Fossilien ganz anderer Art, aber mit umso größerer Aussagekraft, sind Gegenstand der Untersuchungen meiner Doktorarbeit. „Springende Gene“, die vor langer Zeit ins Erbgut der Säuger eingeschleust wurden, haben ausge-

sprochen aussagekräftige Spuren hinterlassen. Gemeinsam mit meinen Kollegen am Institut für Experimentelle Pathologie bin ich diesen Spuren durch das Erbgut der Säugetiere gefolgt, in der Hoffnung, das Geheimnis ihrer Evolution lüften zu können. Was viele erstaunt: Das Bauplanbuch des

Menschen namens Erbgut besteht nur zu etwa 1,5 Prozent aus Bauplänen, den Eiweiß kodierenden Genen. Die Springenden Gene oder Retrotransposons, wie die Fachbezeichnung lautet, machen hingegen mehr als 40 Prozent aus. „Da diese zumeist keine direkt erkennbare Funktion haben, werden sie gern als egoistische Elemente bezeichnet“, sagt Jürgen Schmitz, Leiter der Arbeitsgruppe Phylogenomik. Springende Gene tragen ihren Namen, weil sie nicht nur an ihrer festen Position im Erbgut an die Nachkommen vererbt werden. Sie vermehren sich vielmehr auch innerhalb eines einzigen Genoms. Dabei wird zunächst das Springende Gen durch Enzyme kopiert. Diese Ko-

pie wird dann an einer anderen Stelle wieder eingefügt. Das Ganze ist so, als ob jemand eine vollgeschriebene Seite des Bauplanbuches, auf der sinngemäß steht: „Kopier mich!“, vervielfältigt und an beliebigen Stellen des Buches wieder fest einfügt. Die Stelle, an der diese Kopie eingebaut wird, ist zufällig. Ist die Kopie des Springenden Gens an der neuen Position fixiert, wird sie mit dem restlichen Genom an die Nachfahren weitervererbt.

Über lange Zeiträume teilen dann mehrere Arten und gar ganze Artengruppen diese Kopie an dieser bestimmten Stelle im Erbgut. Alle Arten, die nicht vom Vorfahren abstammen, in dessen Genom sie eingefügt wurde, tragen sie dementsprechend nicht. Die Zufälligkeit des Einbaus ist dabei entscheidend: Da das gesamte Genom etwa drei Milliarden „Buchstaben“ enthält, ist es praktisch ausgeschlossen, dass ein Springendes Gen zweimal an genau dieselbe Stelle im Genom eingefügt wird. Sprich: Alle Träger derselben Kopie des Gens an derselben Stelle im Erbgut müssen von einem gemeinsamen Vorfahren abstammen. Dies vermeidet die oben genannten Probleme, die bei der Analyse von morphologischen Merkmalen oder einfachen Gensequenzen entstehen. Da zudem die Springenden Gene trotz gelegentlicher Mutationen über einen Zeitraum von mehr als 200 Millionen Jahren erkennbar bleiben, eignen sie sich bestens zur Klärung sehr alter Verzweigungen im Stammbaum des Lebens.

Bei unseren Untersuchungen konnten wir durch neu entwickelte bioinformatische Ansätze und molekularbiologische Analysen zahlreiche Muster übereinstimmender Kopien Springender Gene in Säugergenomen finden. Die Daten liefern zweifelsfreie Erkenntnisse über die Entstehungsgeschichte der heutigen Säuger. Der Mensch als Vertreter der Primaten befindet sich demnach in einer gemeinsamen Gruppe mit Pelzflattern und Spitzhörnchen. Noch länger zurück liegt unser gemeinsamer Ursprung mit den Nagetieren und Hasenartigen. Sprich: Der Modellorganismus Spitzhörnchen steht uns näher als



Unter UV-Licht macht Jan Ole Kriegs die DNA der Säugetiere sichtbar. Zum Schutz trägt er beim Experimentieren ein Visier.

die Labormaus! Im Gegensatz zu dieser „näheren“ Verwandtschaft sind Hunde, Katzen und andere Raubtiere auf einem weiter entfernten Ast des Stammbaums anzutreffen, gemeinsam mit Huftieren, Walen, Fledermäusen und Insektenfressern wie dem Igel. Auf einem anderen Ast befinden sich Elefanten und Seekühe nebst Verwandten. Als möglicherweise früheste Aufspaltung trennte sich die Linie der südamerikanischen Ameisenbären, Faul- und Gürteltiere vor etwa 90 Millionen Jahren vom gemeinsamen Vorfahren aller anderen Säuger.

In fast 150 Jahren morphologischer und später auch molekulargenetischer Forschung wurden bis in die jüngste Zeit vielfältige Hypothesen aufgestellt und wieder verworfen. Mit Hilfe fossiler Springender Gene ist es nun gelungen, die Geschichte der großen Säugtiergruppen und eingebettet darin die Geschichte des Menschen mit überzeugenden Beweisen zu belegen. ■

GRÖSSTE NÄHE ZU BENNIE

Jan Ole Kriegs im bdw-Gespräch

• Wird es künftig mehr Spitzhörnchen als Mäuse in Laboren geben?

Spitzhörnchen und Mäuse werden in verschiedenen Forschungsprojekten eingesetzt. Die Maus wird aber wohl in den meisten Fällen der Modellorganismus der Wahl bleiben. Unsere Erkenntnis, dass wir näher mit dem Spitzhörnchen verwandt sind als mit der Maus, hilft etwa bei der folgenden Fragestellung: Ist ein Merkmal unter ähnlichen Bedingungen mehrmals unabhängig entstanden, oder geht es auf einen gemeinsamen Vorfahren zurück?

• Zu welchem Säugetier haben Sie persönlich die größte Nähe?

Auch wenn Nager in unsere biologische Verwandtschaft gehören, habe ich privat eine größere Nähe zu Bennie. Das ist eine Promenadenmischung mit unverhältnismäßig großen Ohren. Die hat er weniger wegen seiner biologischen Nähe zu Fledermäusen, sondern eher, weil sie ihm öfters „lang gezogen“ werden.

• Wo sehen Sie sich in fünf Jahren?

Ich habe gerade eine Stelle als Wirbeltierzoologe am LWL-Museum für Naturkunde in Münster angetreten. In fünf Jahren stecke ich dort wohl mitten in spannenden Projekten.

UND ES WARD SICHT

Unsere Netzhaut liegt „verkehrt herum“ im Auge. Theoretisch müsste das verhindern, dass wir scharf sehen können. Es gibt jedoch Zellen, die – ähnlich wie optische Fasern – das Licht durch die Netzhaut leiten.

von Kristian Franze

SEIT GENERATIONEN verzweifeln Wissenschaftler am Aufbau unserer Netzhaut. Nach den Regeln der Evolution sollte das Organ, dessen einzige Aufgabe darin besteht, Bilder aus der Umgebung aufzunehmen und an das Gehirn weiterzuleiten, für das Sehen optimiert sein. Allerdings ist dies allem Anschein nach nicht der Fall: Die lichtempfindlichen Photorezeptoren, die das einfallende Licht wahrnehmen, befinden sich nämlich auf der falschen Seite der Netzhaut oder Retina. Bevor das Licht sie erreicht, muss es erst die gesamte Dicke der Netzhaut durchqueren. Und diese enthält tausende dicht gepackte Zellen, deren Bestandteile das Licht nach den Gesetzen der Optik stark brechen, streuen und reflektieren sollten. Timothy H. Goldsmith von der Yale University in New Haven (Connecticut, USA) verglich diese Situation mit dem Einbau einer Mattscheibe vor dem Film in einer Kamera. Eigentlich sollte man bei diesem Aufbau, der bei allen Wirbeltieren – ob Fisch, Vogel oder Säuger – gleich ist, nicht in der Lage sein, scharf zu sehen.

Nicht ohne Grund bemerkte Hermann von Helmholtz schon im 19. Jahrhundert, dass, wenn ein Optiker ihm ein Instrument anbieten würde, das all die Defekte eines menschlichen Auges aufweise, er es unter Protest zurückweisen würde. Eine ähnliche Ansicht vertrat auch Nobelpreisträger Richard Feynman, der zusammenfasste, dass einige Eigenschaften des

Auges wundervoll sind, andere hingegen scheinbar dumm. Die Natur selbst liefert einen Beweis für den störenden Effekt der sich im Lichtweg befindlichen Netzhautschichten. Bei höheren Primaten einschließlich des Menschen sind diese im Bereich des schärfsten Sehens, der sogenannten Sehgrube, zur Seite verschoben, so dass hier das Licht die Photorezeptoren ungehindert auf direktem Wege erreicht. Allerdings ist diese komplizierte Verschiebung der inneren Netzhautschichten mit sehr großem Aufwand verbunden und nur räumlich stark begrenzt möglich. Darum stellt dieser hochspezialisierte

DR. KRISTIAN FRANZE

- > **1976** geboren in Halle
- > **1994** Abitur
Wehrdienst
- > **ab 1995** Studium der Veterinärmedizin an der Universität Leipzig
- > **2001** Tierarzt
- > **2001 bis 2007** Doktorand am Lehrstuhl für Experimentelle Physik und am Paul-Flechsig-Institut für Hirnforschung der Universität Leipzig
- > **19.11.2007** Promotion zum Dr. rer. nat.
- > **seit 2007** Postdoc an der University of Cambridge, Großbritannien

kf284@cam.ac.uk

www.neuroscience.cam.ac.uk/directory/profile.php?franze



Fotos: V. Steger für bdw



Beim Blick durchs Mikroskop kam Kristian Franze dem Rätsel auf die Spur: Der Mensch hat Lichtleiter im Auge.



Ungewöhnliche Optik: Die Projektion auf dem Gesicht von Kristian Franze veranschaulicht den Aufbau der Lichtschläuche im Auge.

Netzhautbereich einen entwicklungsbiologischen Extremfall dar, der unter den Säugern nur bei den höheren Primaten zu finden ist.

Trotz allem können die meisten Wirbeltiere erstaunlich gut sehen. Schärfe und Empfindlichkeit unseres Sehannes scheinen kaum von diesem sogenannten invertierten Aufbau der Retina beeinflusst zu sein. Um diesem Widerspruch auf den Grund zu gehen, habe ich mich in einem Team aus Neurowissenschaftlern, Physikern und Biologen der Netzhautoptik angenommen.

HELLE FLECKEN IN DUNKLEN GEBIETEN

Die erste Frage, die sich uns aufdrängte, war, wie das Licht durch die Netzhaut gelangt und wie es an den Photorezeptoren ankommt. Um diese Frage zu beantworten, verwendeten wir eine eigens dafür entwickelte Mikroskopiemethode. Zu unserem Erstaunen breitete sich einfallendes Licht nicht gleichmäßig in der Retina aus. Auf der lichtabgewandten Seite, also dort, wo die Photorezeptoren

beginnen, konnten wir zahllose helle Flecken beobachten, die von dunkleren Gebieten umgeben waren. Dies deutete stark darauf hin, dass es Bereiche in der Netzhaut gibt, die stärker für Licht durchlässig sind als andere.

Als wir in einem nächsten Experiment die Reflexion innerhalb der Netzhaut untersuchten, fanden wir eine ähnlich unregelmäßige Verteilung von stark und schwach reflektierenden Strukturen. Faszinierend war, dass genau in den Bereichen, in denen im ersten Experiment viel Licht die Photorezeptoren erreichte, das Licht vergleichsweise wenig gestreut wurde. Im Gegensatz dazu konnten wir eine starke Lichtstreuung dort beobachten, wo nur wenig Licht durch die Netzhaut trat. Besonders stark streuten dabei die Netzhautschichten, in denen sich die Nervenzellfortsätze und Synapsen befinden.

Das wohl interessanteste und wichtigste Ergebnis dieser Untersuchungen war, dass sich die lichtdurchlässigen, wenig reflektierenden Bereiche

schlauchförmig durch die Retina zogen – von der Netzhautoberfläche bis zu den Photorezeptoren. Mit Hilfe moderner Färbemethoden konnten wir schließlich feststellen, dass es sich bei diesen „Lichtschläuchen“ um Zellen handelte. Diese sogenannten Müllerschen Gliazellen, die neben den Neuronen den zweithäufigsten retinalen Zelltyp darstellen, sind die einzigen Zellen, die die gesamte Dicke der Netzhaut durchspannen. Das Erscheinungsbild dieses Zelltyps lässt sich als lange, dünne Zylinder beschreiben, die sich zum Augenninneren hin trichterförmig aufweiten. Die Trichter von benachbarten Müllerzellen berühren sich, so dass diese Zellen die gesamte innere Netzhautoberfläche bedecken und jedes Photon, das an der Retina ankommt, automatisch auf eine Müllerzelle trifft.

Diese Experimente legten nahe, dass Licht entlang von Müllerzellen besser durch die Netzhaut „geleitet“ wird als an anderen Stellen, und brachte uns zu der überraschenden Hypothese, dass es

sich bei diesen Zellen sogar um echte Lichtleiter handeln könnte. Allerdings müssten sie dann einen höheren Brechungsindex als ihre Umgebung besitzen, was sehr unwahrscheinlich erschien. Umso größer war unsere Überraschung, als eine diesbezügliche Messung ergab, dass der Brechungsindex von Müllerzellen tatsächlich deutlich größer war als der aller anderen Zellen der Netzhaut. Somit waren alle Voraussetzungen gegeben, die es diesen Zellen ermöglichen sollten, als lebende Lichtleiter zu fungieren.

Wie aber sollte man diese Vermutung beweisen? Man müsste die Lichttransmission durch individuelle Zellen messen. Doch dafür müssten einzelne Müllerzellen frei schweben, sich gerade ausrichten und in dieser Position verharren, bis die Messung beendet ist. Das ist jedoch ein Verhalten, das man bei diesen labilen, empfindlichen Zellen vergebens sucht. Man müsste die Zellen also dazu zwingen, aber wie?

Die Lösung lieferte eine sogenannte optische Falle, bei der Laserstrahlen benutzt werden, um mikroskopische Objekte, wie zum Beispiel Zellen, zu „fangen“ und stabil an einer Position zu halten. Das besondere an der von mir verwendeten und weiter modifizierten „Zweistrahlfalle“ ist, dass sich die in ihr gefangenen Zellen zusätzlich entlang des Laserstrahls ausrichten. Auf

SAG NIEMALS NIE

Kristian Franze im bdw-Gespräch

- **Welche Lebewesen dienen Ihnen für die Forschung an der Netzhaut?**

Wir haben vor allem die Netzhäute von Meerschweinchen und Mäusen untersucht. Die Zellen der Meerschweinchen sind besonders stabil. Wir haben aber auch Netzhautproben von Patienten der Augenklinik in Leipzig verwendet.

- **Hat Ihre Entdeckung der Lichtleiter in der Netzhaut womöglich Konsequenzen für die Behandlung von Krankheiten?**

Wir haben erstmal eine grundlegende Erkenntnis erlangt, die den seit Jahrzehnten diskutierten invertierten Aufbau der Netzhaut erklärt. Aber man kann spekulieren: Wenn Technik und Wissenschaft weiter sind, könnte ich mir vorstellen, dass das Lichtleiter-Konzept bei Netzhautimplantaten eingesetzt wird.

- **Sie sind ausgebildeter Tierarzt. Wollen Sie diese Karriere mal fortsetzen?**

Es heißt ja „Sag niemals nie“ – aber ich würde es doch eher ausschließen. Vom Studium der Veterinärmedizin profitiere ich aber durchaus, wenn es etwa darum geht, medizinische Probleme mit physikalischen Methoden zu untersuchen oder biologisches Wissen in physikalische Studien einfließen zu lassen.

diese Weise waren alle notwendigen Voraussetzungen erfüllt und die Messung konnte beginnen. Müllerzellen wurden also „gefangen“, und anschließend wurde sichtbares Licht durch sie hindurch geschickt und gemessen, wieviel von diesem Licht aus ihrem gegenüberliegenden Ende wieder austritt. Das Ergebnis übertraf unsere eigenen Erwartungen: Müllerzellen waren tatsächlich in der Lage, Licht von einem Ende zum anderen so gut wie verlustfrei zu leiten!

Doch was bedeutet das Vorhandensein von Millionen lebender optischer Fasern für die Netzhaut als komplexes optisches System? Ingenieure haben vor wenigen Jahren Materialien entwickelt, die – ähnlich wie Netzhäute – aus optischen Fasern, also Lichtleitern, aufgebaut sind, die parallel zueinander und senkrecht zur Oberfläche angeordnet sind. Der Zweck dieser Materialien ist es, Bilder von einer Oberfläche zur anderen mit möglichst wenig Verlust zu übermitteln. Ein von mir durchgeführter direkter Vergleich von Netzhäuten mit solchen sogenannten faseroptischen Platten ergab, dass eine Retina tatsächlich sehr ähnliche optische Eigenschaften aufweist und in der Lage ist, Muster auf ihrer Oberfläche scharf abzubilden.

Die Müllerzellen, die die gesamte innere Netzhautoberfläche bedecken, nehmen also ins Auge einfallende Photonen auf und leiten sie vorbei an den Zellschichten, die ansonsten das Licht streuen und so für eine deutliche Verschlechterung der Bildqualität sorgen würden, zu den Photorezeptoren. Auf diese Weise wird das Bild ähnlich wie bei faseroptischen Platten von einer Netzhautoberfläche zur gegenüberliegenden so gut wie verlustfrei übertragen, ohne dabei durch den invertierten Aufbau der Retina gestört zu werden. Die Ingenieure haben also unwissentlich ein Material entwickelt, das die Natur bereits „erfunden“ hatte. Sie war nur gut 500 Millionen Jahre schneller.

Ohne es wissen zu können – aber völlig zu Recht – relativierte Helmholtz seine Aussage, indem er fortfuhr: „Trotzdem bin ich froh, meine Augen zu haben, und ich würde sie nicht eintauschen wollen.“ ■



Das Röhrchen besteht wie die Netzhaut aus optischen Fasern. Der Schriftzug „Vision“ wird mit minimalem Verlust von der einen zur gegenüberliegenden Oberfläche transportiert.





Innovation in Rot:

Für die Herstellung von Methanol verwendet Marie Katrin Schröter erstmals Nanoteilchen in einer Flüssigkeit.

Fotos: K. Schöne für baw

PARTNERVERMITTLUNG FÜR KLEINE TEILCHEN

Möchte man Atome miteinander verkuppeln, gilt für die Vermittler: je kleiner, desto besser. Eine Nano-Beziehungsschmiede produziert so den vielleicht wichtigsten Energieträger der Zukunft: Methanol.

von Marie Katrin Schröter

1959 ÜBERSCHRIEB der Nobelpreisträger Richard Feynman seine berühmte Rede zur Nanotechnologie mit „Ganz unten ist (noch) viel Platz“. Ganz unten – damit ist die Welt der nanometergroßen Teilchen gemeint, die Wolfgang Ostwald auch als „Welt der vernachlässigten Dimensionen“ bezeichnete. Ein Nanometer, das ist ein millionstel Millimeter. Das Gebiet liegt auf der Grenze zwischen Molekülen und Festkörpern. Heute, fast 40 Jahre später, hat die Nanowelt Eingang in nahezu alle Bereiche der Forschung gefunden. Ganz unten – da ist Platz für seltsame Phänomene, für eine Vielzahl technischer Anwendungen und für Materialien mit außergewöhnlichen Eigenschaften. Diesem Bereich galt meine Forschung.

Sie widmete sich Kupfer- und Zinkoxid-Teilchen von wenigen Nanometern Größe, mit denen sich Methanol – eine der wichtigsten Basischemikalien und einer der aussichtsreichsten Energieträger der Zukunft – produzieren lässt. Die Nanopartikel fungieren dabei als Katalysatoren. Damit sind sie zentraler Bestandteil der beiden Felder Katalyse im Allgemeinen und Methanolsynthese im Besonderen, die hier kurz erläutert sein sollen.

Die Bedeutung von Katalyseforschung zeigte sich jüngst an dem Nobelpreis für Gerhard Ertl. Er stellte sich der Herausforderung zu erforschen, wie einzelne Moleküle und Atome auf

Metalloberflächen zueinander finden – unter anderem die Grundlage für den Kat im Auto. Dieser ist das vielleicht bekannteste Beispiel. Doch insgesamt sind über 90 Prozent aller chemischen Prozesse katalytischer Natur. Katalysatoren sind Vermittler: Sie lösen alte Bindungen und knüpfen neue Bande. Der Ort des Geschehens ist dabei die Oberfläche des Katalysators. Die Ausgangs-

DR. MARIE KATRIN SCHRÖTER

- > **1978** geboren in Tübingen
- > **1998** Abitur
- > **ab 1998** Studium der Chemie an der Ruhr-Universität Bochum
- > **2002** Forschungsstudium an der University of California in Los Angeles
- > **2003** Diplom in Chemie
- > **2003 bis 2007** Doktorandin am Lehrstuhl für Anorganische Chemie II an der Ruhr-Universität Bochum
- > **11.5.2007** Promotion zum Dr. rer. nat.
- > **2007** Postdoc am Lehrstuhl für Technische Chemie der Ruhr-Universität Bochum
- > **Seit Juli 2008** Teamleiterin Forschung und Entwicklung in der Abteilung für Spezialkatalysatoren bei der BASF in Ludwigshafen

maries@techem.rub.de
www.techem.ruhr-uni-bochum.de

stoffe betreten die Tanzfläche, bewegen sich, wechseln die Partner und verlassen schließlich den Saal in einer neuen Verbindung. Wie in zwischenmenschlichen Beziehungen scheint dabei oft mehr Magie als Wissenschaft im Spiel zu sein. So verwundert es nicht, dass weltweit jährlich etwa zehn Milliarden Euro für die Ergründung dieser Rätsel investiert werden. Die durch Katalysatorforschung erzielten Erträge werden allerdings um ein Hundertfaches höher geschätzt. Denn die Verbesserung eines solchen Arrangeurs bewirkt, dass die Atome und Moleküle sich mit weniger Energieaufwand, schneller und selektiver neu anordnen. Das bedeutet: Die Reaktion wird kostengünstiger und umweltfreundlicher. Es wird weniger Energie und Zeit benötigt, um eine bestimmte Produktmenge herzustellen, und es fallen weniger zu entsorgende Nebenprodukte an. Der Katalysator ist die wirtschaftliche und ökologische Stellschraube einer Reaktion. An dieser Stellschraube der Methanolherstellung zu drehen, war die Aufgabe meiner Doktorarbeit.

Die gesellschaftliche Bedeutung der Forschung wächst mit der Tragweite des katalytischen Prozesses. Methanol (CH_3OH) ist mit über 40 Millionen Jahrestonnen eine der zehn meistproduzierten Chemikalien weltweit. Großindustrielle Anlagen produzieren bis zu 10 000 Tonnen Methanol am Tag. Es wird als Ausgangssubstanz für eine Vielzahl von Verbindungen genutzt und als hochoktaniger Alternativkraftstoff und Kraftstoffzusatz eingesetzt. Es verbrennt sauberer als Benzin. Methanol wird oft als der Energieträger der Zukunft gesehen. Die Flüssigkeit lässt sich leicht handhaben und problemlos über bestehende Infrastrukturen vertreiben. Methanol kann sowohl in klassischen Verbrennungsmotoren als auch in Brennstoffzellen umgesetzt und so zur Stromerzeugung genutzt werden. Die Herstellung erfolgt heute überwiegend aus Erdgas. Prinzipiell ist es jedoch aus allen kohlenstoffhaltigen Ressourcen zu gewinnen (zum Beispiel Holzabfälle, Biomasse). Die Produktion kann also mit Hilfe regenerativer Energien ohne den Verbrauch fossiler Brenn-



Auf dem Prüfstand: Mit der Anlage testet die Chemikerin, wie viel Methanol pro Stunde produziert werden kann. Handschuhe sind Pflicht: Die Reaktion läuft bei 150 bis 200 Grad Celsius ab.

stoffe erfolgen. Durch die Flexibilität des Verfahrens ist ein fließender Übergang zu einer ökologischeren Energieverwertung möglich. Der Nobelpreisträger George W. Olah geht sogar noch weiter und sagt: „Man könnte zusätzlich das CO_2 in der Atmosphäre reduzieren.“ Er prägte den Begriff Methanolwirtschaft, ein Gesellschaftsmodell jenseits von Öl und Gas auf der Basis von Methanol. Mit seiner Aussage spielt er auf die Tatsache an, dass Methanol unter anderem mit Hilfe von elektrischem Strom aus Kohlendioxid (CO_2) und Wasser erzeugt werden kann. In Zukunft soll es möglich sein, CO_2 aus Industrieabgasen direkt an Ort und Stelle zu recyceln und sogar atmosphärisches CO_2 in Methanol umzuwandeln.

DOPPELTE PRODUKTIONSRATE

Der aktive Teil des industriellen Methanolsynthese-Katalysators besteht aus Kupfer und Zinkoxid. Großindustriell wird Methanol in einem treibhausneutralen Prozess aus Kohlenmonoxid (CO), CO_2 und Wasserstoff hergestellt. Obwohl das System seit den Sechzigerjahren etabliert ist, gibt es bezüglich des Me-

chanismus noch immer offene Fragen. Es ist nicht vollständig geklärt – um auf den Tanz der Moleküle auf der Katalysatoroberfläche zurückzukommen – wie genau der Katalysator, der Vermittler, die Moleküle dazu bringt, sich mit den richtigen Partnern einzulassen.

Hier kommt nun die Welt der vernachlässigten Dimensionen ins Spiel. Mir kam die Idee, Methanolsynthese-Katalysatoren aus winzig kleinen Nanoteilchen herzustellen, die in einer Flüssigkeit schwimmen. Dies entspricht nicht dem klassischen Modell, der Ansatz war eine Pionierarbeit und der Ausgang äußerst ungewiss. Die Methanolproduktionsraten meiner Systeme in Flüssigkeit sind jedoch bis zu doppelt so hoch wie die herkömmlicher Industriekatalysatoren. Sie sind also hervorragende Vermittler.

Normalerweise liegt der Katalysator als Feststoff vor. Das innovative Flüssigverfahren hat aber einige Vorteile. Unter anderem kann die Abwärme der Reaktion in einer Flüssigkeit besser aufgefangen und anderen Prozessen zugeführt werden. So kann zum Beispiel Heißdampf zum Betrieb einer

Dampfturbine für die Stromerzeugung generiert werden.

Nanoteilchen – das bedeutet, meine Vermittler sind wenige millionstel Millimeter groß und umfassen lediglich ein paar hundert Atome. Das Verhältnis eines Teilchens zu einem Fußball entspricht etwa dem eines Stecknadelkopfes zum Erdball. Die Katalysatorpartikel sind so klein und fein in der Lösung verteilt, dass sie sich nicht niederschlagen. Diesen Zustand zwischen fest und flüssig bezeichnet man als kolloidal, die Teilchen als Kolloide. Die Eigenschaften von Metallen wie Kupfer unterscheiden sich in diesem Größenbereich stark von den uns vertrauten. Statt einem glänzenden Metall sieht man beim Blick auf meine Katalysatoren daher eine an Rotwein erinnernde Flüssigkeit. Größen von wenigen Nanometern kann das menschliche Auge nicht wahrnehmen. So nimmt man eine Vielzahl von analytischen Methoden und ein Elektronenmikroskop zur Hilfe, um die Natur der Partikel zu entschlüsseln. Stellen Sie sich die Teilchen als winzig kleine Kupferkugeln vor, an deren Oberfläche sich ein ganz besonderes Zinkoxid befindet.

Ich habe die Katalysatoren im Wesentlichen mit drei Eigenschaften ausgestattet, die sie zu ausgezeichneten Vermittlern machen. Der erste Kunstgriff bestand in ihrer Miniaturisierung. Diese Idee basiert auf einfachen geometrischen Überlegungen. Der Bereich, der den Molekülen für ihre Partnerwahl

zur Verfügung steht, ist wie gesagt die Oberfläche des Katalysators. Das Verhältnis von Oberflächen- zu Volumensatomen einer Katalysator-Kugel wächst mit abnehmendem Radius. Bei Nanoteilchen sind bis zu 99 Prozent der Atome an der Oberfläche der Partikel und stehen so prinzipiell für die Partnervermittlung zur Verfügung.

Es kommt aber nicht nur auf die Quantität, sondern besonders auf die Qualität der Oberfläche an. Die zweite besondere Eigenschaft meiner Systeme ist, dass sie aus einer riesigen Menge identischer Nanoteilchen bestehen. Auf allen Oberflächen liegen Kupfer und Zinkoxid Seite an Seite vor. Nur so können die Komponenten optimal zusammenarbeiten. Die gemischte Oberfläche führt zu einer enormen Aktivitätssteigerung. Damit aber nicht genug. Da jede kleinste Einheit ein repräsentatives Abbild des gesamten Katalysators ist, gibt die Untersuchung des Einzelnen Aufschluss über das Ganze. So kann ein einziges Teilchen als Modell dienen, an dem der Prozess der Katalyse genauer untersucht werden kann. Mit den daraus gewonnenen Einsichten lassen sich auch andere Katalysatoren verbessern, maßgeschneiderte Systeme für innovative Prozesse entwickeln und gezielt Umweltfragen adressieren.

Zu guter Letzt kommt es noch auf das besondere Zinkoxid auf den Kupferkugeln an. Es wird erst durch seinen Makel interessant. Die Moleküle auf Partnersuche fühlen sich nämlich nicht angezogen von einer perfekten Oberfläche. Im Gegenteil, sie interagieren bevorzugt mit defekten Stellen, an denen zum Beispiel einige Atome fehlen.

Wie sagt man nun Atomen, sie dürfen sich nicht zu mehr als ein paar Hundert zusammenschließen? Wie erklärt man ihnen, sie sollten sich so mischen, dass sie in jeder kleinsten Einheit zusammenarbeiten können? Wie bringt man sie dazu, ein paar Fehler in der Oberfläche einzubauen? Die Chemie hat dazu einige Antworten und viele offene Fragen. Ich habe das gezielte Design der Katalysatoren durch die Zersetzung von Molekülen erreicht, die beim Erhitzen einzelne Metallatome freisetzen. Andere

KEIN PLAN B

Marie Katrin Schröter im bdw-Gespräch

- **Sie haben für Ihre Dissertation Pionierarbeit geleistet, deren Erfolg keineswegs sicher war. Hatten Sie Bedenken und vielleicht einen Plan B?**

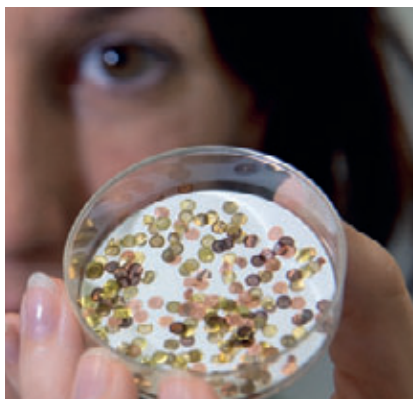
Bedenken hatte ich nie, weil ich immer an das Projekt geglaubt habe. Durststrecken gibt es, an der Universität ist das jedoch kein Grund zur Panik. Einen Plan B gab es nicht, aber mir wäre wenn nötig sicher einer eingefallen. Vorangetrieben hat mich die Neugier und Freude an der Forschung und nicht die Angst vor der Ergebnisflaute.

- **Hat die Industrie bereits Interesse angemeldet?**

Aus meiner Arbeit sind zwei Patente mit der Firma Südchemie hervorgegangen, die gerade international angemeldet werden. Das bedeutet zunächst, dass der Firma die Erfindung schützenswert erscheint. Es wäre natürlich schön, wenn meine Katalysatoren tatsächlich einmal in einer Industrieanlage laufen würden.

- **Ist der Nobelpreisträger Gerhard Ertl ein Vorbild für Sie?**

Ja, ich bin quasi direkt mit ihm verbunden, weil mein letzter Chef Doktorand bei ihm war. Für mich sind Menschen dann berufliche Vorbilder, wenn sie sich trotz politischer Einflüsse und Machtstrukturen treu bleiben und gewisse Werte bewahren.



Auf Gold- und Kupferplättchen fixiert werden die Nanokatalysatoren im Elektronenmikroskop sichtbar.

Moleküle dienen dazu, das Wachstum der Teilchen zu limitieren. Ich erhielt neue Klassen von Katalysatoren, die nicht nur hochaktiv für industrielle Anwendungen sind, sondern sich gleichzeitig als Modelle für die Grundlagenforschung eignen.

Kleine Teilchen, große Wirkung also. Die Faszination darüber, dass es am Ende tatsächlich funktioniert hat, bleibt. Es hat sich gelohnt, den konventionellen Weg zu verlassen und einen Grundstein zu legen in diesem Neuland zwischen Molekül und Festkörper, zwischen flüssig und fest, zwischen Grundlagenforschung und industrieller Anwendung. ■

MIT KINDERN DIE WELT ENTDECKEN

Beobachten und selbst ausprobieren: Die frühe naturwissenschaftliche Förderung in Kindertagesstätten weckt den Forscherdrang bei Kindern und Erzieherinnen – mit der Unterstützung der Klaus Tschira Stiftung.

von Thorsten Langscheid

„**NEIN, NICHT VORSAGEN!**“ Erzieherin Bahar Khaleghi besteht darauf, dass ihre Gruppe ohne Eingreifen der Erwachsenen eine Brücke baut – und das nicht irgendwie. Die Aufgabe in der Kindertagesstätte Heidelberg-Kirchheim lautet: Baut eine elegante Bogenbrücke aus großen, unterschiedlich zugeschnittenen Holzbausteinen, die nicht einstürzt und auf der sogar Kinder stehen können.

Sind Drei- bis Sechsjährige in der Lage, eine solche intellektuelle Herausforderung zu meistern? Müssen sie dazu nicht das Prinzip der selbst tragenden Bogenbrücke aus einem Haufen Holzbauklötze abstrahieren und dieses in gemeinsamer zielgerichteter Arbeit umsetzen? „Darauf kommt es gar nicht an“, sagt Manuela Welzel, Professorin für Physik und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule in Heidelberg. „Kinder verlernen leider zu früh, Fragen zu stellen, geduldig auszuprobieren und eine Lösung für ein Problem zu finden.“ Genau das ist aber das Grundprinzip jeder naturwissenschaftlichen Forschung – und deshalb fördert und finanziert die Klaus Tschira Stiftung das Projekt von Manuela Welzel. Aus dem Projekt ist mittlerweile ein eigenes Zentrum für frühe naturwissenschaftliche Förderung gewachsen.

„Kinder haben im Alter von drei bis sechs Jahren noch einen natürlichen Forscherdrang, der sich auch beim Spie-

len zeigt und weiterentwickelt“, erklärt Manuela Welzel. „Im Vorschulalter erkunden sie die Phänomene ihrer Umwelt und freuen sich über eigene Entdeckungen.“ Wie zum Beispiel Fabio aus der Bärengruppe: Er hat in seinen Klumpen Knetmasse eine Styroporkugel gesteckt und das Ganze mit Nägeln gespickt. Dass sein Igel schwimmt, während die anderen untergehen, be-



Ist Wasser wirklich blau? Spielerisch lernen Kinder ihre Umwelt kennen.

schäftigt die Mini-Gelehrten für geraume Zeit. „Wir haben immer montags unseren Experimentiertag“, erklärt Bahar Khaleghi das Konzept. Spielen und Toben im Freien oder in den Gruppenräumen und andere Aktivitäten kommen keinesfalls zu kurz. „Vor allem wollen wir den Kindern nicht sagen, so ist es richtig und so ist es falsch“, betont Welzel. Man kennt das ja: Der Vater kauft dem Sohn eine elektrische Eisenbahn und sagt dauernd: „Pass

auf, du machst alles kaputt.“ „Wir wollen hingegen eine freie, kreative Atmosphäre schaffen, in der die Kinder ohne Angst vor Fehlern ans Werk gehen können“, sagt Welzel. Klarer Fall: Gerade aus Fehlern wird man klug.

Vor drei Jahren ging das Projekt mit vier Heidelberger Kindertagesstätten an den Start. Das Einzigartige daran: Die Zielgruppe sind nicht in erster Linie die Kinder, sondern die Erzieherinnen. Sie werden über mehrere Monate von Manuela Welzel und ihrem Team fortgebildet und individuell betreut. Sie erarbeiten gemeinsam Ideen und Möglichkeiten für eine jeweils altersgerechte Förderung im Kindergarten und deren direkte Umsetzung im Alltag. Bisher sind aus der Zusammenarbeit Fortbildungsreihen für Erzieherinnen und etwa 30 Materialkisten für die wöchentlichen Experimentiertage entstanden. Darüber hinaus arbeitet das Zentrum für frühe naturwissenschaftliche Förderung inzwischen mit zahlreichen weiteren Kooperationspartnern zusammen, darunter auch Grundschulen und Ausbildungsstätten für Erzieherinnen wie das Mannheimer Fröbelseminar. „Die Anfragen kommen inzwischen aus dem In- und Ausland“, freut sich Manuela Welzel über den Erfolg des Projekts.

Klaus Tschira hat die Finanzierung bis 2010 zugesagt. Bis dahin wird in Baden-Württemberg ein verbindlicher Bildungsplan die frühe Förderung in



Geschafft! Aus Holzklötzen haben die Kinder der Tagesstätte Heidelberg-Kirchheim eine Bogenbrücke gebaut, auf der sie stehen können.

den Kindertagesstätten vorschreiben. Woran es bisher fehlt, sind angemessene Ausbildungs- und Fortbildungskonzepte für die Erzieherinnen, um die anspruchsvollen Bildungsziele zu erreichen. „Bei der frühkindlichen Bildung muss man die Bedingungen, Voraussetzungen und Lebensumstände der Kinder dieser Altersstufen einbeziehen“, meint Welzel.

DER ERFOLG IST ERWISEN

Zwei parallele Fortbildungskurse werden in Heidelberg derzeit für Erzieherinnen angeboten. Zahlreiche Teilnehmerinnen engagieren sich in der Weiterbildung ihrer Kolleginnen und übernehmen die Funktion von Multiplikatoren. Vom Beginn des Projekts bis heute wurden auf diese Weise hunderte von Erzieherinnen in den Kindergärten der Region erreicht. Das Zentrum leistet neben der kontinuierlichen Fortbildung der Erzieherinnen auch praktische Hilfe in Form von Experimenten, Spielen und sonstigen Materialien. Die können

beim Team von Manuela Welzel kostenlos ausgeliehen werden.

Um die Wirkung des Programms verfolgen zu können, wird es mit Dissertationen und Diplomarbeiten wissenschaftlich begleitet. Die Pädagogen konnten bei den Kindern bereits nachweisen, dass sie über die Beschäftigung mit Naturphänomenen früher und besser sprechen lernen. So berichtet Welzel: „Viele Kinder, die zu Beginn der Förderung zurückhaltend waren, beginnen plötzlich zu sprechen und ihre Erlebnisse zu schildern.“ Das bestätigen viele Eltern. Positive Effekte seien auch in der Motorik und dem ästhetischen Empfinden der Kinder zu beobachten. Außerdem waren sie selbstständiger und konzentrierter bei der Sache.

Es zeigte sich auch, dass eine intensive Betreuung der Erzieherinnen durch Welzel und ihr Team notwendig ist, damit diese die komplexen Fähigkeiten erwerben können, die sie für die Förderung der Kinder benötigen.

Außerdem brauchen die Erzieherinnen eine gewisse Zeit, um Sicherheit und Kompetenz zu erlangen, ihr Wissen und ihre Erfahrungen weiterzugeben. Welzel meint, dass die Fortbildungen deshalb mindestens ein halbes Jahr dauern müssen, damit sie erfolgreich sind. Es zeigte sich bereits, dass die Erzieherinnen dann ihre Berührungspunkte mit naturwissenschaftlichen Themen verlieren und selbstbewusst agieren.

In den nächsten Jahren sollen Fallstudien auch Erkenntnisse über einen gelungenen Übergang vom Kindergarten in die Grundschule bringen. „Für die kindliche Entwicklung ist spielerisches Lernen von Bedeutung. Sie üben dabei zu beobachten, zu unterscheiden, zu ordnen, kausale Zusammenhänge zu erkennen und über diese zu sprechen. Sie setzen die Dinge in ihrer Umwelt miteinander in Beziehung. Solche Erfahrungen bilden die Basis, um später im Schulunterricht naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten zu ver-



Im Dialog mit den geschulten Erzieherinnen gewinnt der Nachwuchs Spaß an den Naturwissenschaften.



Ob Wasserspiele oder Materialkunde:
Die Experimente machen die Kinder selbstständiger und konzentrierter und nehmen ihnen ihre Scheu.

Fotos: T. Wegner für bdb

stehen“, erklärt Welzel. Künftig will das Pädagogen-Team auch die Eltern ins Boot holen, um gemeinsam „mit den Kindern die Welt zu entdecken“. So heißt auch das Programm, das längst weite Kreise zieht – wie auch Renate Ries, Sprecherin der Klaus Tschira Stiftung, erfreut bilanziert: „Es ist, als ob man einen Stein ins Wasser geworfen hätte.“

Bereits zu Beginn des Pilotprojekts entwickelten Erzieherinnen wie Bahar Khaleghi so viel Interesse an den naturwissenschaftlichen Fragen, dass sie die Zusammenhänge nicht nur verstehen wollten, sondern einander mit immer neuen Experimentierideen übertrafen. Auch die Kinder sind mit zunehmendem Eifer dabei: Sie erkunden die Gesetze der Hydraulik mit Bechergläsern, Schwimmkerzen und rotem Tee, konstruieren aus Din-A-4-Bögen tragfähige Gebäudedecken und entwickeln mit Magneten raffinierte Techniken, um Nägel, Metallklötzchen und -kugeln zu

bewegen. Dabei gehen sie immer neuen Fragen nach, erforschen alltägliche Phänomene, probieren, beobachten und ziehen eigene Schlüsse.

Und siehe da, es klappt tatsächlich ohne Hilfe der Erwachsenen. Emma und Lena, Lasse und Daniel haben die Brückenaufgabe „geknackt“. Der selbst tragende Bogen aus Holzklötzen steht – und Emma triumphierend oben drauf. „Es geht nicht darum, dass am Ende lauter Wissenschaftler und Ingenieure herauskommen“, meint Welzel. Aber ein naturwissenschaftliches Grundverständnis braucht jeder in Beruf und Alltag – auch Juristen oder Politiker beispielsweise, wenn sie Entscheidungen für die ganze Gesellschaft treffen. Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse gehören zur Kultur und sind ebenso wichtig wie das Wissen über Malerei oder Architektur. Welzel meint: „Wichtig dafür ist, dass jeder Mensch in der Kindheit auf etwas stößt, das ihn sein Leben lang begeistert.“ ■

IMPRESSUM

Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft

Eine Sonderpublikation von bild der wissenschaft in Zusammenarbeit mit der Klaus Tschira Stiftung gGmbH

Herausgeberin: Katja Kohlhammer

Verlag:

Konradin Medien GmbH
Ernst-Mey-Straße 8
70771 Leinfelden-Echterdingen

Verlagsleitung: Joachim Bettinger

Chefredakteur: Wolfgang Hess

Projektleitung: Renate Ries, Cornelia Varwig

Grafische Gestaltung: Richard Zuern Typography

Bildredaktion: Ruth Rehbock

Vertrieb: Rüdiger Eichholz

Druck:

Konradin Druck GmbH
Kohlhammerstraße 1-15,
70771 Leinfelden-Echterdingen

Klaus Tschira Stiftung gGmbH

Villa Bosch
Schloss-Wolfsbrunnenweg 33
69118 Heidelberg
www.klaus-tschira-stiftung.de
www.klaus-tschira-preis.info

2009

KlarText!
KlarText!
KlarText!
KlarText!Klaus Tschira Preis
für verständliche
Wissenschaft

Wäre das nicht auch etwas für Ihr Regal?

2009 vergibt die Klaus Tschira Stiftung zum vierten Mal bundesweit den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft **KlarText!**. Dieser Preis zeichnet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus, die die Ergebnisse ihrer herausragenden Dissertation in einem Artikel anschaulich beschreiben. Um den Preis bewerben können sich Promovierte der **Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik, Neurowissenschaften, Physik** und angrenzender Fächer.

Die Dissertation muss im Jahr 2008 abgeschlossen worden sein. Es werden bis zu sechs Preise à 5.000 Euro vergeben. Die ausgezeichneten Beiträge werden in der Zeitschrift *bild der wissenschaft* veröffentlicht. Einsendeschluss für die Beiträge ist der **28. Februar 2009**.

Ein Projekt der
Klaus Tschira Stiftung
gemeinnützige GmbH



Die Preisträger 2008

Medienpartner

bild der
wissenschaft

www.klaus-tschira-preis.info