

bild der wissenschaft

Die Siegertexte 2014

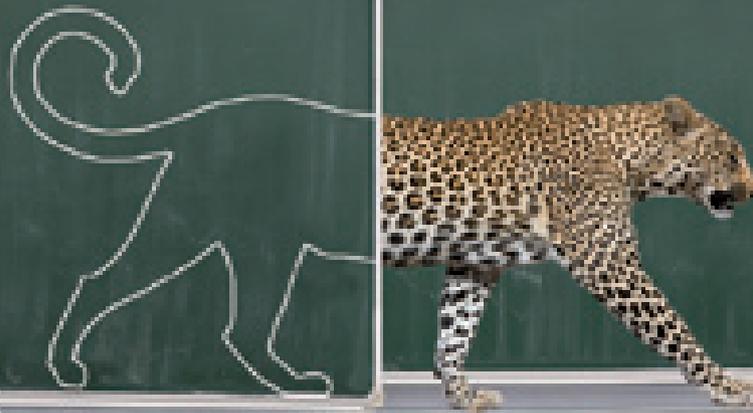
Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft





Jugend **präsentiert**

– und Wissen wird lebendig!



Jugend präsentiert

– fördert die Präsentationskompetenz von Schülerinnen und Schülern in den MINT – Fächern.

Jugend präsentiert

– bietet kostenlose Trainings und Unterrichtsmaterialien für Lehrkräfte und macht sie zu Fachleuten für gute Präsentationen.

Jugend präsentiert

– ist ein bundesweiter Wettbewerb für Schülerinnen und Schüler, denn nichts ist spannender als Wissenschaft.

Folge uns auf:  /jugend.praesentiert

www.jugend-praesentiert.info



Projektträger:

Klaus Tschira Stiftung
gemeinnützige GmbH



Projektbüro:

wissenschaft • im dialog

Forschungsstelle:

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN





Wolfgang Hess, Chefredakteur

Weit mehr als ein Preis!

51 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben den seit 2006 deutschlandweit ausgeschriebenen Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft erhalten. Die Arbeiten der sechs aktuellen Preisträger sind Hauptbestandteil dieses bild der wissenschaft plus. Der Klaus Tschira Preis – übergeben in einer festlichen Veranstaltung und verbunden mit einem Preisgeld von 5000 Euro – soll die Sieger ein Forscherleben lang anspornen, sich neben der wissenschaftlichen Exzellenz um eine verständliche Darstellung zu bemühen, wenn es darum geht, die breite Öffentlichkeit zu informieren.

Um Preisträger und alle anderen 1500 Bewerber noch besser für diese Aufgabe zu qualifizieren, kamen die Mitarbeiter der Klaus Tschira Stiftung schon 2009 auf die Idee, den Workshop „Wissenschaftskommunikation“ anzubieten: erst eintägig, seit 2013 zweitägig. In ihm vermittelt Carsten Könneker, Wissenschaftlicher Direktor des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation und Chefredakteur im Verlag Spektrum der Wissenschaft, wie zeitgemäßes Kommunizieren aussehen muss. Am zweiten Seminartag analysiert der Wissenschaftsjournalist Martin Roos die eingereichten Beiträge für den Klaus Tschira Preis individuell und vermittelt gleichzeitig wesentliche journalistische Darstellungsformen.

74 Frauen und Männer haben die Workshops jüngst besucht. Das sind 42 Prozent aller Bewerber um den Klaus Tschira Preis 2013. Darunter war Dörte Beigel, die als Postdoc am „Interdisciplinary Center für Scientific Computing“ (IWR) der Universität Heidelberg arbeitet. Es war ihr erster Workshop dieser Art. Als sie von der Stiftung eingeladen wurde, zögerte sie keine Minute, dafür Zeit aufzubringen. „Was mir sehr gut gefallen hat, war das strukturierte Nachdenken über Wissenschaftskommunikation. Ich habe gelernt, wie ich eine Kernbotschaft herausarbeite, zielgruppengerecht kommuniziere und welcher Stil hierfür besonders geeignet ist.“ Beigel nutzte soeben ihr neu gewonnenes Wissen beispielsweise, um ihr Fachgebiet im Rahmen des Heidelberg Laureate Forums 2014 vorzustellen.

Apropos: Das Heidelberg Laureate Forum ist eine gemeinsame Initiative der Klaus Tschira Stiftung und ihres Forschungsinstituts, des Heidelberger Instituts für Theoretische Studien. Ziel der Initiative (Beitrag ab Seite 4) ist es, Mathematikern und Informatikern ein ähnliches Netzwerktreffen zu ermöglichen, wie es die Lindauer Nobelpreisträger tagungen seit vielen Jahrzehnten bieten.

Die Aktivitäten der Klaus Tschira Stiftung gehen somit weit über die Vergabe eines Preises hinaus. „Unser Wohlstand und unsere Kommunikation beruhen auf den Naturwissenschaften, ebenso wie auf der Mathematik und der Informatik. Damit unsere Gesellschaft auch zukünftig auf den Ergebnissen dieser Fachgebiete aufbauen kann, unterstützt die Klaus Tschira Stiftung Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik und möchte zu deren Wertschätzung beitragen“, beschreibt die Stiftung ihr Ziel.

Stifter wie Klaus Tschira verschaffen Deutschland somit zusätzliche Perspektiven.

3 Zur Sache

4 Ein Fest der Zahlen und Menschen

Beim Heidelberg Laureate Forum treffen junge Talente auf alte Hasen der Mathematik und Informatik.

7 Impressum

8 BrainAGE – Wie alt sieht mein Gehirn aus?

Katja Franke, Neurowissenschaften

12 Chemie mit der Kraft der Sonne

Jan Ungelenk, Chemie

16 Solarzellen mit Rückspiegel

Benjamin Thaidigsmann, Physik

20 Wenn es was zu sagen gibt

Sebastian Trimpe, Informatik

24 Wenn das Fliegenbaby auf sich warten lässt

Karen Linnemannstöns, Biologie

28 Mathematischer Modellbau

Jannik Matuschke, Mathematik

32 Wissen wird lebendig

Im Projekt „Jugend präsentiert“ lernen Schüler, Inhalte gekonnt darzustellen.



Teilgrafik: Peter Kotzur

Wissenschaftler, die sich verständlich ausdrücken können, sind gefragt. Der Klaus Tschira Preis markiert eine wichtige Station auf dem Karriereweg der ausgezeichneten Nachwuchsforscher.

Ein Fest der Zahlen und Menschen

Im September wird Heidelberg alljährlich zum Nabel der Welt für Informatiker und Mathematiker. Seit 2013 findet dort ein großes Treffen junger Talente und preisgekrönter Koryphäen dieser Fachgebiete statt – das Heidelberg Laureate Forum.

von Beatrice Lugger



Abendempfang vor der Kulisse des Schwetzingen Barockschlusses: Nach zwei anregenden Tagen tauschen die Teilnehmer ihre Erfahrungen aus.

Dieses Selfie musste sein. „Zu meiner Entschuldigung kann ich vorbringen, dass ich mir die Verantwortung mit dem Herrn links teile dafür, dass das Bild jetzt im Internet steht“, erklärt Markus Pössel. „Ich bin für das Online-Stellen verantwortlich. Er dafür, dass es überhaupt ein Internet zum Hineinstellen gibt.“ Der Leiter des Hauses der Astronomie in Heidelberg hatte Vinton Cerf, auch „Vater des Internets“



M. Pössel

Im Selfie verewigt: Markus Pössel, der Leiter des Hauses der Astronomie (rechts), und der „Vater des Internets“ Vinton Cerf.

genannt, während des ersten Heidelberg Laureate Forums (HLF) im Jahr 2013 mit sich abgelichtet. Als Blogautor hatte Pössel einen Exklusiv-Interview-Termin mit Vinton Cerf ergattert. Dies war die erste Gelegenheit für ihn, dem Mann so nahe zu kommen, der gemeinsam mit Robert E. Kahn in den frühen 1970er-Jahren mit den sogenannten TCP/IP Datenaustausch-Protokollen die Grundlagen für das Internet gelegt hatte. Und natürlich ist das Selfie mit Cerf und Pössel seither dort, wo es hingehört: im Blog. Im Internet.

Die einmalige Chance, sich mit den weltbesten Mathematikern und Informatikern fast eine Woche lang zu treffen, haben im September 2013 und 2014 je 200 talentierte Nachwuchsforscher aus fast 50 Nationen wahrgenommen. Ihre Vorbilder sind Träger ehrwürdiger Preise wie der Fields-Medaille, des Abel-Preises, des Nevanlinna-Preises oder des Turing Awards (siehe Infokasten auf Seite 6). Das sind Auszeichnungen, die in ihrem Ansehen einem Nobelpreis gleichen, der für die Fachgebiete Computerwissenschaften und Mathematik nicht existiert.

Für die Nobelpreisträger der Chemie, Medizin/Physiologie und Physik gibt es bereits seit 64 Jahren ein derartiges Treffen der Nachwuchstalente mit ihren Vorbildern, die Lindauer Nobelpreisträgertagungen. Klaus Tschira, einer der Gründer des Softwareunternehmens SAP und Stif-

ter, wünschte sich ein ähnliches jährliches Branchentreffen für Mathematik und Informatik. „Schließlich durchdringen diese beiden Wissenschaften unser Leben und unseren Alltag“, erklärt er seine Motivation. Tatsächlich gilt Mathematik als Basiswissenschaft der Ingenieurs- und Naturwissenschaften und prägt selbstverständlich auch die Ökonomie und Sozialwissenschaften. Und ohne Computerwissenschaften gäbe es die heutige digitale Welt nicht.

Von der Wettervorhersage über Berechnungen der Faltung von Eiweißstrukturen bis zur Auswertung großer Datensätze, den „Big Data“, um daraus neue Erkenntnisse zu generieren: Hinter allem stecken hochkomplexe Prozesse der Mathematik und Informatik. Algorithmen etwa verhelfen Suchmaschinen wie Google oder Bing zu ihren Treffern. Die Liste kann gegen unendlich verlängert werden. Nicht zuletzt sind unser aller Lieblingsspielzeuge und Lebensbegleiter, die Smartphones und Tablets mit ihren Apps, ohne Informatik und Mathematik nicht denkbar.

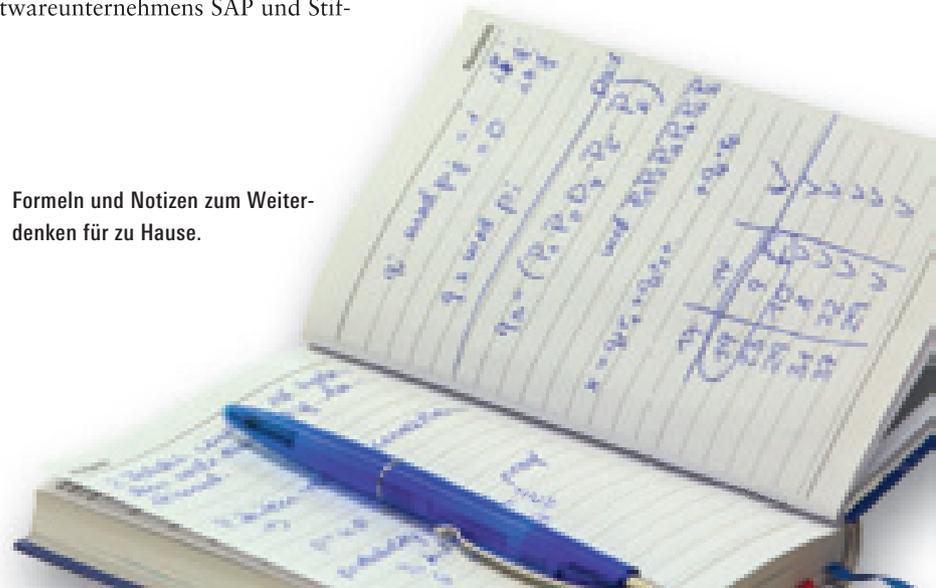
Networking zeigt Wirkung

Seit vielen Jahren fördert die Klaus Tschira Stiftung bereits die Lindauer Nobelpreisträgertagungen. Weshalb sollte nun nicht in Heidelberg ein Pendant auf die Beine gestellt werden? Tschira griff diese Idee von Andreas Reuter auf, der mit ihm gemeinsam das Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS) leitet. „Ein informelles Treffen, das genug Zeit bietet, um aktuelle Fragestellungen



HLF/8. Kreuzer (Foto links); C. Flemming (Foto unten)

Formeln und Notizen zum Weiterdenken für zu Hause.



unter verschiedenen Gesichtspunkten zu beleuchten, ist ebenso wichtig wie die akademische Lehre“, erklärt Reuter seine Motivation. Zügig gründete Klaus Tschira die Stiftung Heidelberg Laureate Forum Foundation (HLFF) und holte die preisverleihenden Institutionen zur Umsetzung seines Vorhabens an Bord. Er sieht vor allem im Netzwerk-Charakter der Veranstaltung die zentrale Wirkung: „Es geht darum, Rat einzuholen, Rollenmodelle und Mentoren zu finden – und vielleicht Freunde“, so Tschira.



Die berühmten Fields-Medaillen-Träger Sir Michael Atiyah (oben rechts) und Cédric Villani (unten rechts) waren gefragte Gesprächspartner.

Abel-Preis (Mathematik)

Seit 2003 verleiht die Norwegische Akademie der Wissenschaften den Abel-Preis für herausragende Arbeiten in der Mathematik. Die Auszeichnung ist nach dem norwegischen Mathematiker Niels Henrik Abel (1802–1829) benannt.

Preisgeld: 6 Millionen norwegische Kronen (720 000 Euro)

Fields-Medaille (Mathematik)

Besonders begehrt ist die nach dem kanadischen Mathematiker John Charles Fields (1863–1932) benannte Medaille. Sie wird seit 1936 nur alle vier Jahre von der Internationalen Mathematischen Union verliehen. Die Preisträger müssen im Vergabegahr unter 40 Jahre alt sein.

Preisgeld: 15 000 kanadische Dollar (10 000 Euro)

Nevanlinna-Preis (Informatik)

Der Nevanlinna-Preis zeichnet mathematische Aspekte in der Informatik aus und wird wie die Fields-Medaille von der Internationalen Mathematischen Union vergeben – ebenfalls alle vier Jahre an unter 40-Jährige. Namensgeber der seit 1981 verliehenen Auszeichnung ist der finnische Mathematiker Rolf Herman Nevanlinna (1895–1980).

Preisgeld: 15 000 kanadische Dollar (10 000 Euro)

A.M. Turing Award (Informatik)

Er gilt als höchste Auszeichnung der Computerwissenschaften und ist nach dem britischen Logiker Alan Mathison Turing (1912–1954) benannt, der zu den einflussreichsten Theoretikern der frühen Informatik zählt. Der Award wird seit 1966 jährlich von der Association for Computing Machinery verliehen und von den Firmen Intel und Google gesponsert.

Preisgeld: 250 000 US-Dollar (185 000 Euro)



HLFF/C. Flemming (2)

So lud die HLFF alle Laureaten der genannten Preise ein. Die Resonanz war grandios. Dass im ersten Jahr gleich 38 Laureaten kommen würden, hatten die Organisatoren nicht erwartet. „Ich habe sofort den Stellenwert begriffen und zugesagt“, sagt der 71-jährige Turing-Preisträger Vinton Cerf, der unter anderem als „Chief Evangelist“ und Vize-Präsident für Google und als Gastwissenschaftler der NASA tätig ist. Er sieht im HLF eine besondere Chance: „Endlich haben Laureaten der Mathematik und Informatik die Chance, sich – ähnlich den Nobelpreisträgern der Naturwissenschaften – mit der nächsten Generation potenzieller Laureaten zu treffen und gegenseitig geistig anzuregen.“

So machten sich im September 2013 schließlich acht der wegweisenden Theoretiker mathematischer Grundlagen und 30 Koryphäen der Informatik auf den Weg nach Heidelberg. In der Neuen Aula der Heidelberger Universität beteiligten sie sich am klassischen Konferenzprogramm mit Vorträgen und Workshops. Sie berichteten über die Sternstunden ihrer wissenschaftlichen Karriere und gaben

Einblick in ihre Forschungsleistungen. Sir Michael Atiyah, Fields-Medaillengewinner von 1996 und Abel-Preisträger von 2004, wandte sich mit pragmatischen Ratschlägen an die junge Forschergeneration: Sie sollten sich beispielsweise von Rückschlägen nicht entmutigen lassen, gute Kooperationspartner suchen und vor allem nicht die schwierigsten Probleme in der Mathematik anpacken, sondern zunächst solche auswählen, die lösbar sind.

In den Pausen standen die Laureaten in den Fluren, im Garten, im Innenhof, beim Mittagessen und beim abendlichen Empfang für Gespräche bereit. Die Quote von 200 Nachwuchswissenschaftlern zu 38 Laureaten sorgte für eine familiäre Atmosphäre, in der der Nachwuchs schnell die Scheu ablegte. „Es ist toll, wie sich bei jeder Gelegenheit kleine Grüppchen um die Laureaten bilden und sofort diskutiert wird“, beschreibt es Mathetalent Benjamin Hiller, der sich am Berliner Konrad-Zuse-Institut mit Optimierungsproblemen für Gasnetze befasst. Diskussionen, die auch Vinton Cerf nicht missen möchte. Er hat vor allem schätzen gelernt, dass junge Forscher keine Scheu davor haben,



HLF/B. Kreutzer

Bushra Anjum, Postdoktorandin aus Pakistan, war angetan von der besonderen Mischung aus exzellenten Vorträgen und einem Rahmenprogramm für den persönlichen Austausch.

frühere Ergebnisse und konventionelle Weisheiten in Frage zu stellen. Das führe zu einem besonders fruchtbaren Gedankenaustausch.

Auch wissenschaftlich hochaktuelle Themen werden beim HLF diskutiert. Schließlich befassen sich die jungen Talente, genauso wie ihre Vorbilder, mit konkreten Fragestellungen unserer Zeit. So arbeitet der Grieche Kanoulas Evangelos in Googles Forschungszentrum in Zürich daran, dass Computerprogramme künftig Sinn und Inhalt von Sprache ähnlich wie Menschen verstehen können. Die französische Mathematikerin Pauline Tan berechnet am Center of Mathematics and their Applications in Cachan bei Paris, wie Darstellungen in 3D optimiert werden können. Der amerikanisch-israelische Forscher Nathan Kallus will für Probleme, die gleich mehrere Unsicherheitsfaktoren in sich bergen, mathematische Methoden entwickeln, die zur objektiv besten Entscheidung führen. Er forscht dazu am Operations Research Center am Massachusetts Institute of Technology in den USA. Oder die Britin Ella Gale: Sie analysiert an der University of the West

of England in Bristol sogenannte Memristoren – Schaltmechanismen, wie sie aus der Gehirnforschung bekannt sind. Diese Memristoren könnten der Intelligenz von ‚Computer-Gehirnen‘ auf die Sprünge helfen.

Auf dem Boden der Tatsachen

Es sind die Inhalte, die Laureaten und Talente nach Heidelberg locken, und der wissenschaftliche Diskurs. Diesen fast auf die Spitze getrieben – nein: auf den Boden der Tatsachen gebracht, hat der exzentrische französische Mathematiker und Physiker Cédric Villani. Der vielfach preisgekrönte Fields-Medaillenträger ist bekannt für seine extravaganen Auftritte im dunklen Anzug mit einem edlen Tuch um den Hals und auffälliger Spinnenbrotsche am Revers. Ausgerechnet Villani ist es, der sich beim Abendessen reichlich unpräzise in einer Ecke am Fußboden der Heidelberger Mensa niederlässt, um dort online zu gehen. Schnell bildet sich neben der Essensschlange an diesem Abend eine weitere – die Villani-Schlange. Für jeden nimmt Villani sich Zeit, debattiert über

mathematische Inhalte, scherzt, unterhält sich mit den Jungforschern auf Augenhöhe, sobald diese neben ihm auf dem Mensaboden sitzen. In einem Interview im HLF-Blog erklärt Villani, dass genau diese Art der Kommunikation für Wissenschaftler wichtig sei: „Nicht zuletzt ist es so, dass man, indem man etwas erklärt, selbst besser versteht, was man tut. Das ist eigentlich eine Lebensweisheit.“

Viele Nachwuchstalente sammeln in diesem Sinn während einer HLF-Woche neben zahlreichen Selfies mit Laureaten und Unterschriften ihrer Vorbilder auch Kontakte und bringen neue Forschungs Kooperationen nach Hause. So berichtet Bushra Anjum, eine pakistanische Computerwissenschaftlerin an der National University of Computer and Emerging Sciences in Lahore ein Jahr nach dem ersten HLF, sie habe dort genau die Forscher mit Kompetenzen getroffen, die sie für ihre Arbeit gesucht habe: einen Datenexperten und einen für Mensch-Maschine-Interaktionen. Beide leben in Europa und arbeiten jetzt eng mit ihr zusammen: „Ich glaube kaum, dass wir uns sonst getroffen hätten.“ Anjum hat dabei insbesondere von der Interdisziplinarität und Internationalität des Forums profitiert. Auch der Internet-Guru Vinton Cerf fand die Zeit, die er in Heidelberg mit seinen Mathematik-Kollegen verbrachte, äußerst befruchtend. Für sein Interessengebiet des Netzwerkverhaltens könnten mathematische Modelle viel leisten, ist Cerf sicher und kündigt an: „Ich werde jedes Jahr zum HLF kommen, so lange ich kann.“ ●

Weitere Informationen:

www.heidelberg-laureate-forum.org
www.heidelberg-laureate-forum.de

IMPRESSUM

Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft
Eine Sonderpublikation von bild der wissenschaft in Zusammenarbeit mit der Klaus Tschira Stiftung

ERSCHEINUNGSTERMIN: Oktober 2014

HERAUSGEBERIN: Katja Kohlhammer

VERLAG: Konradin Medien GmbH

Ernst-Mey-Straße 8, 70771 Leinfelden-Echterdingen

GESCHÄFTSFÜHRER: Peter Dilger

CHEFREDAKTEUR: Wolfgang Hess

PROJEKTLEITUNG: Cornelia Varwig

GRAFISCHE GESTALTUNG: Peter Kotzur

BILDREDAKTION: Ruth Rehbock

SCHLUSSREDAKTION: Sabine Stahl

REDAKTION KLAUS TSCHIRA STIFTUNG: Renate Ries

VERTRIEB: Kosta Poulos

DRUCK: Konradin Druck GmbH

Kohlhammerstr. 1-15, 70771 Leinfelden-Echterdingen

Weitere Exemplare der Sonderpublikation können Sie anfordern bei:

Klaus Tschira Stiftung gGmbH

Villa Bosch

Schloss-Wolfsbrunnenweg 33

69118 Heidelberg

www.klaus-tschira-preis.info

BrainAGE – Wie alt sieht mein

DR. KATJA FRANKE

1978 geboren in Halle/Saale

1996 Abitur

1996 bis 2004 Studium der Psychologie an der Martin-Luther-Universität Halle

1999 bis 2001 Internationales Master-Programm „Psychology Excellence“ an der Ludwig-Maximilians-Universität München

2004 Diplom in Psychologie

2004 bis 2007 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am ZNL – Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen an der Universität Ulm

2007 bis 2013 Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Structural Brain Mapping Group an der Universitätsklinik Jena

2011 bis 2013 Doktorandin der Kognitiven Neuropsychologie an der Universität Zürich

01.03.2013 Promotion zum Dr. phil.

seit 2013 Postdoc in der Structural Brain Mapping Group an der Universitätsklinik Jena

Infos: www.dbm.neuro.uni-jena.de

Kontakt: katja.franke@uni-jena.de



Gehirn aus?

Während unseres Lebens verändert sich unser Gehirn und zeigt dabei komplexe, alterstypische Muster. Die neu entwickelte BrainAGE-Methode ermöglicht es jetzt erstmals, das persönliche Gehirnalter anhand eines Hirnscans zu bestimmen. Somit können nun beschleunigte Alterungsprozesse im Gehirn und das damit verbundene Risiko, an Alzheimer-Demenz zu erkranken, frühzeitig festgestellt und künftig gezielt behandelt werden.

von Katja Franke

Diese Frau kann in die Zukunft sehen – zumindest was die Alterung von Gehirnen betrifft. Dafür verwendet Katja Franke Aufnahmen aus dem Magnetresonanztomographen. Mit dem Kopfphantom in ihren Händen wird das Gerät kalibriert.

Stellen Sie sich vor, es wird eine Kernspin-Aufnahme von Ihrem Gehirn gemacht und der Arzt bescheinigt Ihnen hinterher, dass Ihr Gehirn – im Vergleich zu Ihrem tatsächlichen Alter – fünf Jahre jünger aussieht. Wundervoll, oder?! Welcher erwachsene Mensch hört nicht gerne, dass er (oder in diesem Fall sein Gehirn) jünger aussieht! Sollte Ihr Arzt Ihnen sagen, dass Ihr Gehirn – im Vergleich zu Ihrem tatsächlichen Alter – fünf Jahre älter aussieht, so ist das auch kein Grund, gleich in Panik zu verfallen. Ein erhöhtes Gehirnalter weist zwar u.a. auf ein erhöhtes Risiko hin, an der Alzheimer-Demenz zu erkranken – jedoch ermöglicht die frühzeitige Identifikation von geringfügigen und unmerklichen Veränderungen in der Gehirnstruktur eine verbesserte Prophylaxe und ggf. frühzeitige Behandlung, um dem Erkrankungsrisiko wirksam entgegenzusteuern.

Wie soll eine solche Altersbestimmung des Gehirns funktionieren? Wenn wir einer unbekannt Person begegnen und uns deren Gesicht anschauen, können wir aufgrund unserer bisherigen Erfahrungen intuitiv das Alter dieser Person schätzen. In diese Altersschätzung fließen eine große Anzahl kleinster Anzeichen mit ein, beispielsweise die Anzahl der Fältchen, Faltentiefe, Altersflecken et cetera. All diese Merkmale, die sich im Laufe unseres Lebens in typischer Art und Weise verändern, „verrechnet“ unser Gehirn automatisch und „ordnet“ dann das neue Gesicht anhand der individuellen Ausprägung dieser Merkmale dem passenden Alter zu. In meinem Dissertationsprojekt habe ich eine neue Methode namens „BrainAGE“ entwickelt, mit der die Bestimmung des Gehirnalters vergleichbar funktioniert: Ein Computer bestimmt und verrechnet eine große Anzahl von „Merkmalen“ in der Gehirnstruktur, die sich im Laufe unseres Lebens auf charakteristische Weise verändern, vergleicht dann die individuelle Struktur des zu bewertenden Gehirns mit den errechneten alterstypischen „Merkmalsmustern“ und ordnet diesem Gehirn das passende Alter zu.

Wie kann man sich solche „Merkmalsmuster“ im Gehirn vorstellen? Das menschliche Gehirn besteht aus der grauen Substanz, welche die Nervenzellkörper (auch Neurone genannt) enthält, und aus

Fotos: J. Löbel für bfw



Das Gehirn verliert im Laufe des Lebens graue und weiße Substanz. An der Art der Veränderung kann Katja Franke das Alter eines Gehirns ablesen.

der weißen Substanz, in der die Nervenfasern verlaufen – also die Verbindungen zwischen den Nervenzellen. Der normale Verlauf der Alterung des Gehirns im Erwachsenenalter ist von einer kontinuierlichen Abnahme der grauen und der weißen Substanz geprägt. Dabei weist die Hirnalterung komplexe und alterstypische Muster in den verschiedenen Regionen des Gehirns auf. Grob gesprochen altert das gesunde Gehirn im Allgemeinen „von vorne nach hinten“, das heißt die vorderen Gehirnregionen, in denen die höheren kognitiven Funktionen verankert sind, altern eher und schneller als die Bereiche im Gehirn, die hauptsächlich für die grundlegenden sensorischen und motorischen Funktionen zuständig sind. Diese Alterungsprozesse finden in den meisten Hirnregionen natürlich gleichzeitig statt – jedoch mit jeweils unterschiedlicher Geschwindigkeit und in jeweils unterschiedlichem Ausmaß. Somit ergeben sich bei gesunden Menschen komplexe, alterstypische Alterungsmuster in der Gehirnstruktur.

Mithilfe der Kernspintomographie (wissenschaftlich als Magnetresonanztomographie (MRT) bezeichnet) ist die individuelle Verteilung der grauen und weißen Substanz heutzutage bildlich sehr genau, schnell und ohne gesundheitliche Risiken darstellbar. Unter Verwendung solcher Kernspin-Aufnahmen von Gehirnen gesunder Erwachsener und moderner mathematischer Verfahren zur Bildverar-

beitung und Mustererkennung wird mit der neuen BrainAGE-Methode der normale Alterungsprozess der Gehirnstruktur modelliert. Im ersten Schritt „lernt“ das BrainAGE-Modell, jedem Alter das typische komplexe Muster der Verteilung der grauen und der weißen Substanz im gesamten Gehirn zuzuordnen. Dadurch entsteht quasi eine Referenzkurve für die normale Hirnalterung – vergleichbar beispielsweise mit den Referenzkurven für die Größenentwicklung bei Kindern. Anschließend kann für eine neue Kernspinaufnahme das Alter des aufgenommenen Gehirns geschätzt werden – basierend auf der Ähnlichkeit der individuellen Verteilung der grauen und weißen Substanz zu den typischen Alterungsmustern. Dieses geschätzte Gehirnalter stimmt bei gesunden, alterstypisch entwickelten Gehirnen mit dem chronologischen Alter überein: Das Gehirn eines gesunden 50-Jährigen wird also auf 50 Jahre geschätzt.

Wann das Gehirn schneller altert

Durch die Anwendung der BrainAGE-Methode in verschiedenen Stichproben konnte ich zeigen, dass das individuelle Gehirnalter sehr genau und zuverlässig geschätzt werden kann. Andererseits können mit der BrainAGE-Methode aber auch subtile Abweichungen vom komplexen Muster der gesunden Hirnalterung festgestellt und somit bei der Schätzung des individuellen Gehirnalters

berücksichtigt werden. Bei gesunden Erwachsenen beträgt die Genauigkeit der Schätzung plus / minus 4,5 Jahre im Vergleich zum chronologischen Alter. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die gesunde Hirnalterung normalen biologischen Schwankungen unterliegt – vergleichbar beispielsweise mit den Schwankungen in der Körpergrößenentwicklung bei Kindern. Aber auch unterschiedliche Lebensweisen haben einen Einfluss auf die individuelle Hirnalterung. So verursacht Rauchen oder übermäßiger Alkoholkonsum eine beschleunigte Hirnalterung. Folglich würde das Gehirnalter höher als das chronologische Alter geschätzt werden. Bei einem 60-jährigen Raucher in ansonsten gutem Gesundheitszustand ist es also beispielsweise durchaus wahrscheinlich, dass sein Gehirnalter auf circa 65 Jahre geschätzt wird. Ein gesunder Lebensstil hingegen führt im Allgemeinen zu einem verlangsamteten Abbau der grauen und weißen Substanz im Gehirn, wodurch die Schätzung des Gehirnalters in einem niedrigeren Wert im Vergleich zum chronologischen Alter resultieren würde.

Gesellschaftlich und medizinisch interessant wird die BrainAGE-Methode sowohl für die Früherkennung von vorzeitigen und beschleunigten Alterungsprozessen im Gehirn, als auch für die Identifikation weiterer Risikofaktoren für eine vorzeitige oder beschleunigte Hirnalterung. Diese beschleunigte Abnahme von grauer und weißer Substanz

HILFREICH FÜR DIE THERAPIE

Katja Franke im bdw-Gespräch

Wie viele Gehirne mussten Sie scannen, bis Sie wussten, wie die normale Hirnalterung aussieht?

Wir scannen die Gehirne nicht selbst. In den letzten Jahren sind immer mehr große Datenbanken entstanden, die MRT-Aufnahmen von Gehirnen gesunder Probanden aber auch von Patienten für Forschungsprojekte zur Verfügung stellen. Auf diese greifen wir zurück. Für die Modellierung gesunder Hirnalterung verwenden wir circa 550 MRT-Aufnahmen.

Sie können mit Ihrer Methode das Alzheimer-Risiko von Patienten vorhersagen. Was kann man tun, wenn ein hohes Risiko festgestellt wird?

Zukünftig könnten medikamentöse Therapien, an denen andere Wissenschaftler forschen, rechtzeitig und gezielt eingesetzt werden. Die BrainAGE-Methode trägt dazu bei, Risikofaktoren für eine beschleunigte Hirnalterung zu erforschen. Aus einem besseren Verständnis der Auswirkungen dieser Risikofaktoren können Maßnahmen für eine gesunde Hirnalterung abgeleitet werden.

Nach dem ersten Hype kam Kritik an den bildgebenden Verfahren in der Hirnforschung auf. Wie schätzen Sie die Aussagekraft der Bilder ein?

Trotz aller Kritik sind die MRT-Aufnahmen noch immer die bessere Alternative zu Untersuchungen am „offenen Gehirn“. Eines der wichtigsten Kriterien bei der Entwicklung der BrainAGE-Methode war der Verzicht auf komplizierte Selektionsverfahren bei der Bildverarbeitung. Somit nehmen wir genau das, was wir „sehen“, um das Hirnalter zu bestimmen. Meine Studien zeigen, dass dies sehr zuverlässig funktioniert.

Haben Sie Ihr eigenes Gehirnalter schon getestet?

Nein.

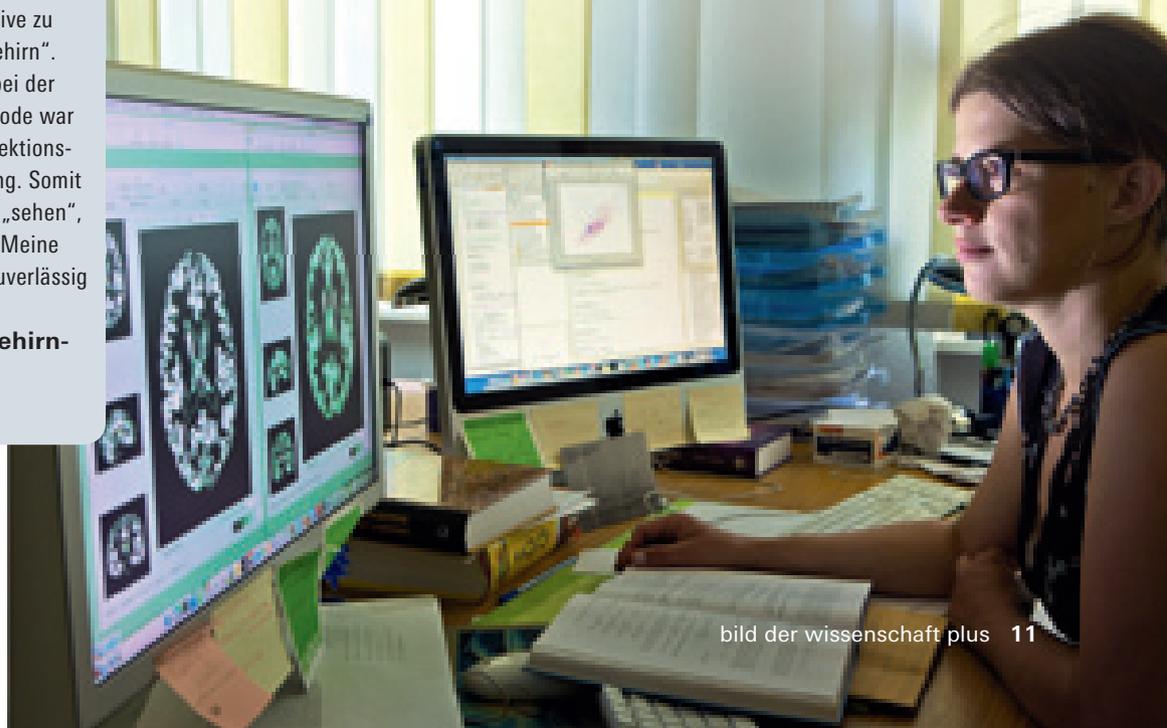
im Gehirn ist mit einem größeren Risiko verbunden, im späteren Alter an der Alzheimer-Demenz zu erkranken. Aufgrund der weiterhin steigenden Lebenserwartung in den westlichen Industrieländern wird davon ausgegangen, dass in den kommenden Jahrzehnten auch die Anzahl an Patienten mit Alzheimer-Demenz drastisch ansteigen wird. Das Tückische am Verlauf der Alzheimer-Demenz besteht in der über Jahre andauernden beschleunigten, abnormalen und irreversiblen Abnahme an grauer und weißer Substanz, wobei der Betroffene allerdings lange Zeit keine Beeinträchtigungen in seinen kognitiven Funktionen (zum Beispiel Gedächtnis, Sprache) oder seiner Alltagsbewältigung verspürt. Diese Symptome treten zumeist erst auf, wenn bereits ein großes Ausmaß an abnormalen und irreversiblen Veränderungen in der Hirnstruktur vorhanden ist.

Bei der Anwendung der BrainAGE-Methode auf Kernspin-Aufnahmen von Patienten im Anfangsstadium der Alzheimer-Demenz wird das individuelle Gehirnalter durchschnittlich zehn Jahre höher geschätzt als deren chronologisches Alter. Somit entspricht die Hirnalterung bei diesen Patienten einer Beschleunigung um zehn Jahre im Vergleich zu dem eigentlich alterstypischen Muster der Verteilung der grauen und weißen Substanz. In der klinischen Anwendung der BrainAGE-Methode sind jedoch die Patienten noch interessanter, die zwar leichte kognitive Beeinträchtigungen haben, bei denen aber noch nicht sicher ist, ob diese Patienten

zukünftig an Alzheimer-Demenz erkranken werden. Mithilfe der BrainAGE-Methode ist dies nun sehr genau vorhersehbar: Jedes zusätzliche Jahr, welches das geschätzte Gehirnalter über dem chronologischen Alter liegt, geht mit einem zehn Prozent höheren Risiko einher, an Alzheimer-Demenz zu erkranken. Die Patienten, die später mit Alzheimer-Demenz diagnostiziert werden, zeigen bereits zum Zeitpunkt der Kernspin-Aufnahme eine beschleunigte Hirnalterung um durchschnittlich sechs bis acht Jahre. Hinzu kommt, dass das Gehirn dieser Patienten im weiteren Krankheitsverlauf auch weiterhin eine beschleunigte Hirnalterung um zusätzlich ein Jahr pro Lebensjahr zeigt, d.h. das Gehirn dieser Patienten altert innerhalb eines Lebensjahres doppelt so schnell wie das Gehirn von gesunden Gleichaltrigen. Im Gegensatz dazu ist bei den Patienten, die zwar leichte kognitive Beeinträchtigungen zeigen, im weiteren Verlauf jedoch nicht mit Alzheimer-Demenz diagnostiziert werden, keine beschleunigte Hirnalterung zu beobachten.

Die BrainAGE-Methode stellt folglich einen vielversprechenden Ansatz dar, abweichende Muster in der individuellen Hirnalterung frühzeitig festzustellen und wichtige prognostische Informationen zu liefern. Da die BrainAGE-Methode schnell und völlig automatisiert arbeitet, könnte sie zukünftig beispielsweise als medizinisches Screening-Instrument und zur Bewertung von Behandlungserfolgen in den klinischen Arbeitsablauf integriert werden. ●

Forscheralltag: Einen Großteil ihrer Zeit verbringt Franke am Computer.



Chemie mit der Kraft der Sonne

Die Sonne ist eine schier unerschöpfliche und weltweit vorkommende Energiequelle. Warum also nicht Sonnenenergie direkt für chemische Reaktionen effizient nutzen? Dafür bedarf es neuer maßgeschneiderter Materialien.

von Jan Ungelenk

Die Idee ist keineswegs neu. Bereits 1912 schwärmte der Forscher Giacomo Ciamician von seiner Vorstellung der Zukunft. Er schrieb in der Fachzeitschrift *Science*: „... überall werden gläserne Gebäude in den Himmel ragen; in deren Inneren werden fotochemische Prozesse stattfinden, die bis dahin gut gehütete Geheimnisse der Pflanzen waren, die dann aber auch industriell vom Menschen gemeistert sein werden...“

Allerdings ist uns auch heute, über hundert Jahre nach dieser Vision, die Natur noch weit voraus. Für mich war das eine entscheidende Motivation meiner Forschung. Ich wollte helfen, neue Materialien zu entwickeln, die ein wenig näher an das großartige Vorbild der Natur rücken.

Alle Materialien, auch Sie und ich, bestehen aus winzig kleinen Bausteinen, den Atomen. Diese wiederum werden aus dem positiv geladenen Atomkern und einer sie umgebenden Hülle aus negativ geladenen Elektronen gebildet. Die Natur treibt mit Sonnenenergie zahlreiche Reaktionen an, bei denen Elektronen von einem Stoff auf einen anderen übertragen werden. Chemiker sprechen von Redoxreaktionen. So nutzen grüne Pflanzen im Rahmen der Photosynthese Sonnenenergie, um Wassermolekülen je zwei Elektronen zu entziehen. Da-

bei wird quasi als Abfallprodukt der Sauerstoff unserer Atmosphäre frei. Die Elektronen werden auf Kohlenstoffdioxid übertragen, wodurch energiereiche Kohlenstoffverbindungen entstehen: Holz, aber auch Erdöl und Kohle sind gespeicherte Sonnenenergie!

Auf technischem Weg kann man mithilfe einer elektrischen Spannung Wassermolekülen (H_2O) Elektronen entziehen, wodurch ebenfalls Sauerstoff (O_2) freigesetzt wird. Es bleiben positiv geladene Wasserstoff-Ionen (H^+), auch Protonen genannt, zurück. Die Elektronen werden über eine Platin-Gegenelektrode in die Lösung zurückgeleitet und vereinigen sich mit den Protonen zu Wasserstoffgas (H_2). Dieser Vorgang, die Spaltung von Wasser in die Elemente mittels elektrischer Spannung, wird Elektrolyse genannt.

Ende der 1960er-Jahre machte der japanische Student Akira Fujishima bei einem Experiment zur Elektrolyse von Wasser eine bedeutende Entdeckung. Er bemerkte, dass er die nötige Spannung deutlich verringern konnte, wenn er die sauerstoffbildende Elektrode mit UV-Licht bestrahlte. Im Dunkeln war jedoch wieder die volle Spannung zur Spaltung notwendig. Was war geschehen? Akira Fujishima verwendete als Elektrodenmaterial für die Sauerstofferzeugung Titandioxid, ein halbleitendes Material. Halbleiter werden unter

Fotos: T. Wegner für bdbw

DR. JAN UNGELENK

1985 geboren in Coburg

2004 Abitur

2004 bis 2009 Studium der Nanostrukturwissenschaft an der Universität Kassel

2009 Diplom in Nanostrukturwissenschaft am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg in Stuttgart

2009 bis 2013 Doktorand am Institut für Anorganische Chemie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

18.04.2013 Promotion zum Dr. rer. nat.

2013 Postdoc am Institut für Anorganische Chemie am KIT

seit März 2014 Laborleiter in der Abteilung für Oxidationskatalyse bei BASF in Ludwigshafen

Infos: www.cuvillier.de/de/shop/publications/6423

Kontakt: jan.ungelenk@basf.com



Zwei Zutaten für eine chemische Reaktion: gelbes Zinnwolframat und sichtbares Licht. Jan Ungelenks Entwicklung kann künftig für die Medizin nützlich sein.

anderem in Solarzellen verwendet, denn sie weisen einen besonderen Effekt auf: Ihre elektrische Leitfähigkeit erhöht sich durch Bestrahlung mit Licht ausreichender Energie. Dabei werden Elektronen energetisch angehoben.

Um diesen Effekt verstehen zu können, stellen Sie sich für einen Moment einen elektrischen Stromkreis als einen Wasserkreislauf vor, der mit einer Pumpe angetrieben wird: Wasser aus einem Mühlenweiher wird nach oben gepumpt und treibt beim Zurückstürzen ein Wasserrad an. Das Wasser steht für die Elektronen. Das Wasserrad stellt einen elektrischen Verbraucher dar, zum Beispiel eine Lampe. Die Pumpe schließlich symbolisiert

eine Spannungsquelle, zum Beispiel eine Batterie oder eben eine Solarzelle. Anstelle von Wasser hebt eine Spannungsquelle Elektronen auf ein energetisch höheres Niveau.

Jetzt müssen Sie nur noch wissen, dass Elektronen zwar theoretisch beliebig hoch, aber nicht stufenlos auf jedes denkbare Energieniveau angehoben werden können. Vielmehr gibt es eine Art „Energietreppe“, die nur schrittweise erklommen werden kann. Das ist eine Folge der inneren Ordnung von Atomen. Chemiker sprechen vom Aufbauprinzip. Bei Halbleitern ist die Stufenhöhe zur ersten leeren Stufe, die mit Elektronen besetzt werden kann, relativ niedrig. Fachsprachlich wird

diese Stufenhöhe Bandlücke genannt. Wird ein Halbleiter mit Licht bestrahlt, dessen Energie mindestens der Bandlücke entspricht, kann ein Elektron unter Nutzung der Lichtenergie auf die nächsthöhere, leere Stufe „gepumpt“ werden. Werden diese Elektronen an einer Elektrode gesammelt, wird eine Spannung aufgebaut. So funktionieren Solarzellen.

Und genau das passierte auch im Experiment von Akira Fujishima: Da seine Elektrode aus halbleitendem Titandioxid bestand, erzeugte sie beim Bestrahlen mit UV-Licht selbst eine Spannung. Entsprechend konnte Akira Fujishima die von außen angelegte Spannung verringern. Er hatte eine höchstbedeutende chemische Reaktion – die Gewinnung des Energieträgers Wasserstoff – zumindest teilweise mit Lichtenergie angetrieben.

Fotokatalyse mit Schönheitsfehler

Spinnen Sie jetzt diesen Gedanken weiter. Wäre es nicht viel eleganter, direkt mit Licht chemische Reaktionen anzutreiben? So wie es die Natur mit grünen Pflanzen macht. Die gepumpten Elektronen sollen also direkt auf Reaktionspartner übertragen werden. Ein solcher Prozess wird Fotokatalyse genannt. Lassen wir einmal in Gedanken alle elektrischen Komponenten aus Akira Fujishimas Experiment weg: Es bleibt nur das Titandioxid übrig, das dann als Fotokatalysator bezeichnet wird. Seit über 50 Jahren ist Titandioxid der Goldstandard für die Fotokatalyse und übrigens keinesfalls auf die Spaltung von Wasser beschränkt. So können zum Beispiel auch Schadstoffe in harmlose Moleküle gespalten werden. Ja, sogar Krankheitserreger können fotokatalytisch unschädlich gemacht werden. Und das alles mit der Kraft der Sonne!

Dennoch hat Titandioxid einen entscheidenden Schönheitsfehler. Der Abstand zwischen den Stufen seiner „Energietreppe“, also die Bandlücke von Titandioxid, ist so groß, dass nur energiereiches UV-Licht Ladungsträger erzeugen kann. Dank der uns schützenden Ozonschicht beträgt der Anteil von UV-

Die Scheibe eines Abzugs im Labor hat der Chemiker als gläsernen Notizzettel benutzt.

Licht am Sonnenlicht auf der Erde aber nur etwa ein Prozent. Aus Sicht der Fotokatalyse bedeutet das: Fast 99 Prozent des Sonnenlichts bleibt durch Titandioxid ungenutzt. Daher wollte ich im Rahmen meiner Promotion in der Arbeitsgruppe von Professor Feldmann ein neues Material mit einer kleineren Bandlücke entwickeln. So soll es möglich werden, die Sonne für chemische Reaktionen viel effizienter zu nutzen.

Zu Beginn meiner Arbeit war bereits klar, dass Zinnwolframat ein besonders aussichtsreicher Kandidat ist – das legten verschiedene theoretische Arbeiten nahe, welche die Eigenschaften berechneten. Es war bis dahin jedoch niemandem gelungen, Zinnwolframat in ausreichender Qualität herzustellen. Im Falle eines Fotokatalysators ist nämlich nicht nur das Material selbst, sondern auch dessen innere atomare Ordnung von entscheidender Bedeutung. Sie kennen das vom Kohlenstoff. Das Graphit in Ihrer Bleistiftmine und Diamant sind ein und dasselbe Material: reiner Kohlenstoff. Nur die Verknüpfungsmuster der Kohlenstoffatome unterscheiden sich – und damit fast alle Eigenschaften von Graphit und Diamant. Graphit zum Beispiel ist sehr weich, Diamant das härteste natürliche Material. Bei Zinnwolframat ist es ähnlich: Es tritt in zwei Typen auf, einer roten und einer gelben Form – und nur die gelbe Form hat die gewünschten fotokatalytischen Eigenschaften. Allerdings liegt die gelbe Form gewöhnlich erst bei Temperaturen über 800 Grad Celsius vor.

Mir ist es nun erstmals gelungen, die gelbe Variante von Zinnwolframat direkt bei niedriger Temperatur in unerreicht hoher Qualität herzustellen, indem ich einen Trick anwendete. Ich bin von Natriumwolframat ausgegangen, ein wasserlösliches Salz, das das für gelbes Zinnwolframat typische Wolframat-Motiv quasi vorgeformt enthält. Vereinfacht gesagt, habe ich die Ordnung von Natriumwolframat genutzt und diese direkt auf das Zinnwolframat übertragen. So, als ob man ein Lego-Set nicht aus einzelnen Legosteinen zusammenbaut, sondern aus Teilen, die bereits vorgebaut sind.

Tatsächlich ist dieses gelbe Zinnwolframat unter simuliertem Sonnenlicht bis zu 16-fach aktiver als Titandioxid. In

Die Natur macht's vor: So wie Pflanzen für die Fotosynthese Sonnenenergie nutzen, können mit ihr auch chemische Reaktionen angetrieben werden.

DIE ANWENDUNG IST MIR WICHTIG

Jan Ungelenk im bdw-Gespräch

Der Forschung fällt es schwer, Vorgänge der Natur zu kopieren. Woran liegt das?

Zeit. Die Natur hat gegenüber uns Menschen vier Milliarden Jahre Vorsprung. Im Rahmen der Evolution hat sie fantastische Lösungen hervorgebracht. Zudem optimiert die Natur direkt auf der Ebene der kleinsten Bausteine, der Atome. Sie betreibt Nanotechnologie. Der Mensch fängt gerade erst damit an.

Sie beschreiben die Zukunftsvision von Giacomo Ciamician.

Wie stellen Sie sich die Zukunft vor?

Bekanntlich sind Prognosen schwierig, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen (lacht). Mit großen Datenmengen und viel Rechenleistung werden Prognosen aber einfacher. Letzten Winter etwa ist es gelungen, den Verlauf der Grippewelle in den USA genau vorherzusagen – und auch wir werden immer berechenbarer.

Inwiefern können Ihre Erkenntnisse bei der Krebstherapie von Nutzen sein?

Wir haben nur einen kleinen ersten Schritt gemacht. Aber Giacomo Ciamician hat gezeigt, dass es sich lohnt, früh aufzubrechen. Perspektivisch soll es möglich werden, Krebs viel gezielter und damit verträglicher zu bekämpfen als mit der Chemotherapie.

Sie arbeiten jetzt als Laborleiter bei BASF – bedeutet das die Abkehr von einer Laufbahn als Wissenschaftler?

Nein. Für mich ist es vielmehr die folgerichtige Fortsetzung meines Werdegangs. Ob Forschung an der Universität, am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung oder in der chemischen Industrie – der Anwendungsbezug war mir immer wichtig, und meine persönliche Motivation überall die gleiche: Nachhaltigkeit anzustreben.

Kooperationen mit Forschern aus dem Bereich der Wasserchemie und Biochemie haben wir bereits begonnen, mögliche Anwendungen zu erproben. So gelingt uns der rückstandsfreie Abbau des Antibiotikums Sulfamethoxazol. Durch seinen massenhaften Einsatz ist Sulfamethoxazol mittlerweile ein weit verbreiteter Umweltschadstoff und sogar im Trinkwasser nachweisbar.

Ein Fotokatalysator, der wie gelbes Zinnwolframat sichtbares Licht nutzen kann, ist zudem sehr interessant für medizinische Anwendungen: Je energieärmer Licht ist, desto tiefer kann es in den menschlichen Körper eindringen. Wir haben im Experiment demonstrieren können, dass gelbes Zinnwolframat menschliche Leberkrebszellen unter Belichtung mit blauem Licht zerstört. In Mäusen konnte die Metastasierung eines Brusttumors unterdrückt werden. All diese Ergebnisse geben Hoffnung, dass es einmal möglich wird, durch gezielte Belichtung mit normalem Licht Krebs zu bekämpfen und dabei gesundes Gewebe zu schonen.

Schon jetzt ist klar, dass unser gelbes Zinnwolframat dem klassischen Fotokatalysator Titandioxid weit überlegen ist. Wir sind also einen kleinen Schritt näher an das Vorbild der Natur gerückt und machen 100 Jahre nach Giacomo Ciamician Chemie mit der Kraft der Sonne. ●

Solarzellen mit Rück

DR. BENJAMIN THAIDIGSMANN

1984 geboren in Tübingen

2003 Abitur

2003 bis 2009 Studium der Physik an der Eberhard Karls Universität in Tübingen

2009 Diplom in Physik am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg

2009 bis 2013 Doktorand am Fraunhofer ISE in Freiburg

25.07.2013 Promotion zum Dr. rer. nat.

seit 2013 Leiter des Teams

Industrielle Zellstrukturen am Fraunhofer ISE in Freiburg

Infos: www.publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/49957

Kontakt:

benjamin.thaidigsmann@posteo.de

Für die Herstellung seiner Solarzellen setzt Benjamin Thaidigsmann ein bewährtes Laserbohrverfahren ein, bei dem die Funken sprühen. Dabei bildet sich gefährlicher Feinstaub, weshalb er nur von außen zuschauen kann.

spiegel

Aus zwei mach eins!
Wie zwei Solarzellenkonzepte sich sinnvoll ergänzen und so zur Kostensenkung der Photovoltaik beitragen können.

von Benjamin Thaidigsmann

Ein paar Grad wärmer? Ist doch angenehm. Das letzte Jahrzehnt hat uns einige Temperaturrekorde beschert. Dumm nur, dass die momentane Veränderung des Weltklimas nicht nur wärmere Sommer mit sich bringt. Was tun? Weniger Auto fahren, sicher. Unsere Häuser besser isolieren, okay. Aber was machen wir mit unserer Stromversorgung? Abstellen? Kochen über offenem Feuer, Abendessen bei Kerzenschein, ein Buch lesen und dabei nicht vom klingelnden Telefon gestört werden. Klingt entspannt bis romantisch. Unser Leben wäre ein anderes ohne Elektrizität. Vermutlich wäre es aber hauptsächlich eines: extrem anstrengend. Was wir auch

tun, fast immer ist elektrischer Strom im Spiel. Strom, der in Deutschland momentan zu drei Vierteln aus fossilen – und damit endlichen – Quellen stammt und bei dessen Erzeugung große Mengen CO_2 entstehen. Das werden wir uns auf Dauer nicht erlauben können. Wenn wir auch in Zukunft noch Straßenbahn fahren, das Internet nutzen und ein Bier in unserem Kühlschrank kalt stellen wollen, müssen wir auf erneuerbare Energiequellen umsteigen.

Die Photovoltaik (PV) gehört neben der Windkraft schon heute zu den wichtigsten alternativen Stromquellen. Aufgrund des starken Zubaus sind die Preise für PV-Systeme innerhalb der letzten acht Jahre um knapp 70 Prozent gesunken. Heutzutage kann eine Kilowattstunde Sonnenstrom in Deutschland für rund zehn Cent erzeugt werden, das ist deutlich weniger als der aktuelle Haushaltsstrompreis. Und trotzdem ist ein wirtschaftlicher Betrieb von PV-Anlagen in Deutschland ohne Unterstützung in Form einer festen Einspeisevergütung bislang kaum möglich.

Der Wirkungsgrad von Solarzellen bietet einen Ansatzpunkt, das zu ändern. Bei größerer Effizienz liefert die gleiche Fläche mehr elektrischen Strom, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Dass noch Luft nach oben ist, zeigen die Zahlen: Als technologisch erreichbar gilt ein Wirkungsgrad von rund 25 Prozent, zu Beginn meiner Doktorarbeit lag der mittlere Wirkungsgrad typischer Solarzellen allerdings nur bei rund 15 bis 17 Prozent. Das liegt daran, dass herkömmliche Solarzellen das Sonnenlicht nicht ideal nutzen: In Solarmodulen werden die einzelnen Solarzellen über Metallkontaktstreifen elektrisch miteinander verbunden. Da die Kontaktstreifen die sonnenzugewandte Zellvorderseite teilweise bedecken, verringert sich der Lichteintrag in die Solarzelle. Rund 3 Prozent des Sonnenlichts erreichen die Solarzelle daher gar nicht. Ein zusätzlicher Verlust entsteht, wenn Licht die Solarzellenrückseite erreicht. Nur rund 60 Prozent dieses Lichts werden wieder in das Zellinnere reflektiert, der Rest geht in Form von Abwärme verloren.

Das geht besser! Im Rahmen meiner Doktorarbeit habe ich eine neuartige

Solarzellenstruktur entwickelt, um genau diese Verluste auf ein Minimum zu reduzieren und somit den Wirkungsgrad zu erhöhen. Interessanterweise wurden 1998 beziehungsweise 1989 schon zwei Ansätze vorgestellt, mit denen die zuvor genannten Schwachstellen behoben werden können. In der sogenannten MWT-Solarzelle (Metal-Wrap-Through) wird der Strom von der Vorderseite über winzige, metallgefüllte Löcher auf die Rückseite transportiert, sodass auf der Vorderseite kein Metallkontaktstreifen mehr nötig ist. Und die PERC-Solarzelle (Passivated Emitter and Rear Cell) besitzt nahezu an der ganzen Zellrückseite eine spiegelnde Schicht, die über 90 Prozent des Lichts reflektiert. Mein Ansatz war nun, diese beiden Verbesserungen so miteinander zu verbinden, dass die resultierende Solarzelle industriell zu niedrigeren Kosten als herkömmliche Solarzellen hergestellt werden kann.

20 Prozent – Weltrekord!

Nach einigen Versuchen stand fest: Die beste Spiegelwirkung an der Zellrückseite hat ein Schichtstapel aus Siliciumoxid und Siliciumnitrid, jeweils weniger als 100 Nanometer dick. Um die elektrische Verbindung von der Vorder- zur Rückseite herzustellen, konnte ich einen schon bekannten Laserbohrprozess einsetzen und so Löcher erzeugen, die sich dann beim anschließenden Druck der Rückseitenkontakte automatisch mit Metallpaste füllen. Der Erfolg blieb nicht aus, die entstandene MWT-PERC-Solarzelle mit metallgefüllten Löchern (MWT) und Rückseitenverspiegelung (PERC) erreichte 2011 sogar einen Weltrekord: Sie war die erste auf industriell üblichen, großen p-dotierten Siliciumscheiben hergestellte Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von über 20 Prozent. Trotzdem: Das muss noch besser gehen. Die Effizienz war zwar gegenüber Standardsolarzellen deutlich erhöht, für die Herstellung mussten allerdings fünf zusätzliche Prozessschritte eingeplant werden. Das liegt daran, dass auf der Rückseite einer MWT-Solarzelle sowohl der negative als auch der positive Anschluss untergebracht ist. Damit es keinen Kurzschluss zwischen beiden Kontakten gibt, muss zusätzli-

cher Aufwand für die Kontaktisolation betrieben werden. Meine Idee war nun, die aus dem PERC-Konzept stammende spiegelnde Schicht an der Zellrückseite gleichzeitig als Isolationsschicht zu nutzen. Diese Idee hat mir einige skeptische Blicke meiner Kollegen eingebracht, weil die Spiegelschicht so extrem dünn und die Isolationswirkung damit alles andere als sicher ist. Ich wollte es trotzdem wissen. Und siehe da: Vereinfachte Solarzellen, in denen die Spiegelschicht gleichzeitig die mit der Vorderseite verbundenen Kontakte gegenüber dem Rest der Zelle isoliert, hatten die gleiche Effizienz wie

nach dem komplizierteren Verfahren hergestellte Referenzzellen. Ein Durchbruch für die neue MWT-PERC-Solarzelle: Für den MWT-spezifischen Teil ist nur noch ein einziger zusätzlicher Schritt, das Laserbohren, erforderlich. Was bedeutet das also? Erstens, durch skeptische Blicke sollte man sich nicht verunsichern lassen. Zweitens, die Herstellungskosten der neuen, vereinfachten MWT-PERC-Solarzelle bezogen auf die Ausgangsleistung sind aufgrund des deutlich höheren Wirkungsgrades tatsächlich kleiner! Der Grundstein für eine weitere Senkung der PV-Anlagenpreise ist somit gelegt.

In weiterführenden Untersuchungen konnte ich zeigen, dass die Isolation mithilfe der Spiegelschicht noch einen zusätzlichen Vorteil mit sich bringt: Sie ermöglicht einen starken Stromfluss bei Rückwärtspolung. Rückwärtspolung ist ein Zustand, der auftreten kann, wenn ein Teil eines Solarmodules z.B. durch Blätter abgeschattet wird. Durch her-

ZUM AUSGLEICH IN DIE KÜCHE

Benjamin Thaidigsmann im bdw-Gespräch

Stellen Sie sich ein Leben ohne Elektrizität vor: Worauf könnten Sie am wenigsten verzichten?

Vermutlich auf die modernen Kommunikationswege. Ich besitze zwar weder ein Smartphone noch nutze ich soziale Netzwerke, trotzdem ist die Vorstellung, komplett ohne Internet und (Mobil-) Telefon zu leben, ziemlich befremdlich. Wie schwierig wäre es, Informationen und Nachrichten zu erhalten, die gerade nicht zufällig in der Zeitung stehen!

War es Ihnen wichtig, an einem Thema zu forschen, das einen aktuellen Bezug hat?

Extrem! Das war einer der Gründe – wenn nicht sogar der wichtigste – dafür, meine Doktorarbeit am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme zu schreiben. Grundlagenforschung ist auch unverzichtbar. Aber für mich war die Anwendungsnähe meiner Forschung unglaublich motivierend und ebenso das Wissen, dass die in unserem Team erzielten Ergebnisse die Entwicklung der Solarbranche und damit eine zukünftige nachhaltige Energieversorgung direkt beeinflussen können.

Neben Ihrer Forschung arbeiten Sie seit fünf Jahren als Küchenhilfe ...

Ich koche nicht nur privat gerne, sondern auch mit großer Begeisterung in einem Restaurant in Freiburg. Die Arbeit in der Küche ist für mich der ideale Ausgleich für einen Beruf, in dem man die meiste Zeit denkend am Schreibtisch verbringt. Wenn viele Gäste da sind, brummt die Küche. Alle wuseln und werkeln in einem perfekt organisierten Chaos, das schafft ein tolles Gemeinschaftsgefühl. Und: In der Küche hat man nach 20 Minuten ein Ergebnis, im Labor oft erst nach Monaten.

Thaidigsmann fängt mit seiner Solarzelle Sonnenlicht ein – effizienter als je zuvor.



kömmliche Solarzellen, die abgeschattet und daher rückwärts gepolt sind, fließt nahezu kein Strom. Ungünstigerweise blockieren die abgeschatteten Solarzellen damit auch die noch beleuchteten Solarzellen, weshalb das ganze Solarmodul im schlimmsten Fall keinen Strom mehr liefert – selbst wenn es nur teilweise abgeschattet wird. Wenn bei Rückwärts-polung allerdings weiterhin Strom fließen kann, so wie in den neuen, vereinfachten MWT-PERC-Solarzellen, können alle anderen Solarzellen, die nicht abgeschattet sind, weiterhin Strom erzeugen. Teilweise Abschattung durch Laub, Kamine oder Stromleitungen ist also mit dem neuen Solarzellenkonzept weniger tragisch. Bleibt die Frage, warum durch die abgeschattete Solarzelle überhaupt Strom fließen kann. Und da wird es spannend – zumindest für einen Physiker. Um der Ursache auf die Schliche zu kommen, habe ich die Kennlinie, also den Zusammenhang zwischen Spannung und Strom, genau vermessen und versucht, sie mit theoretischen Modellen zur Stromleitung zu beschreiben. Als ich ein Modell für das Tunneln von Elektronen durch eine Isolations-schicht als Stromtransportmechanismus angewendet habe, konnte ich die gemessene Kennlinie nachbilden. Tunneln kann man sich anschaulich so vorstellen: Wenn man nur oft genug gegen eine Wand rennt, steht man irgendwann auf der anderen

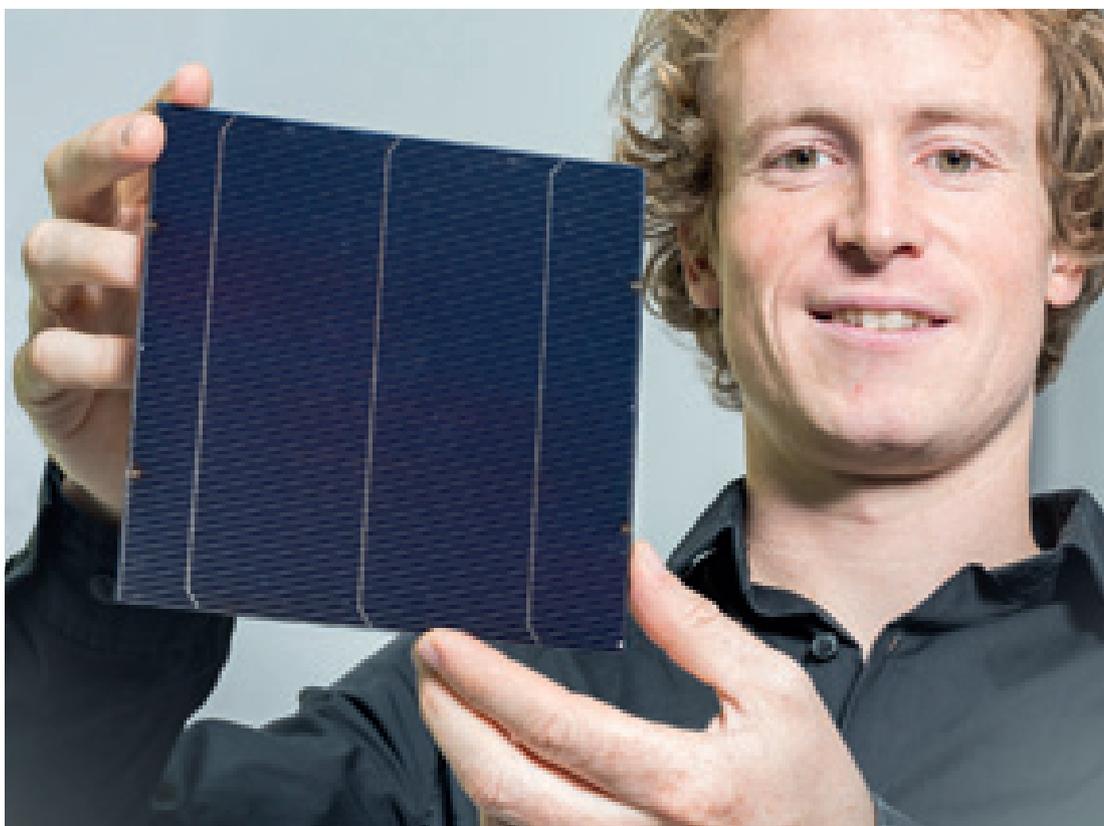
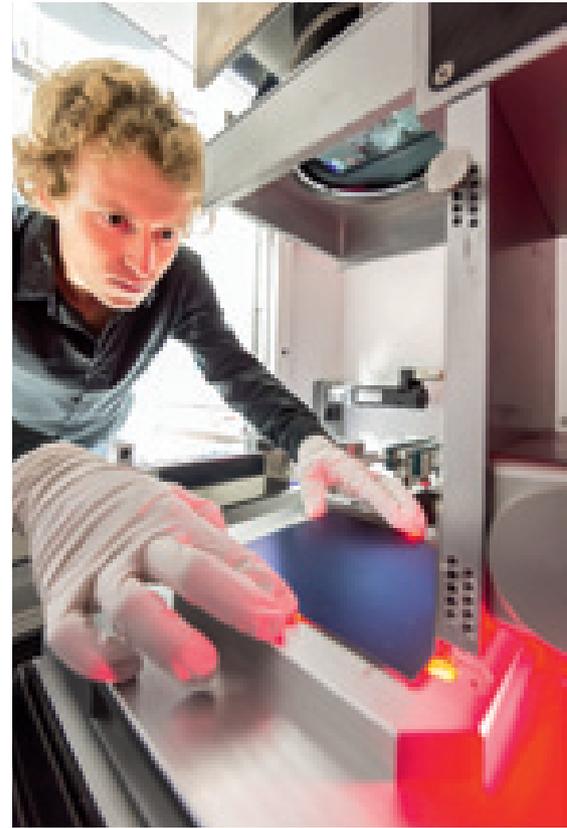
Seite (ohne, dass danach ein Loch in der Wand ist ...). Was in unserem Alltag undenkbar erscheint, ist in der Welt der kleinen Elektronen, in denen die Regeln der Quantenphysik zum Vorschein kommen, völlig normal.

Auf die Paste kommt es an

Neben der Erkenntnis, dass es sich um einen Tunnelstrom handeln muss, konnte ich anhand der Modelldaten außerdem die effektive Dicke der isolierenden Spiegelschicht ermitteln. In manchen Bereichen ist die Spiegelschicht unter den rückseitigen Metallkontakten weniger als einen Nanometer dick, da sich die Metallpaste der Kontakte während der Produktion in die Spiegelschicht ätzt. Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen bestätigen das. Ganz unberechtigt waren die skeptischen Blicke meiner Kollegen also nicht, ein Nanometer ist wirklich dünn. Solange man aber eine geeignete Metallpaste mit speziellen Zusatzstoffen und eine optimierte Spiegelschicht verwendet, bleiben die Eigenschaften der Schicht stabil; die Zelle hat trotz der Vereinfachung eine hohe Effizienz im Normalbetrieb und kann bei Teilabschattung den Strom der anderen Zellen weiterleiten. Insgesamt also ein doppelter Gewinn.

Auch wenn die Photovoltaik zurzeit das Sündenbock-Kostüm übergezogen

hat („Wer soll denn das bezahlen?“), ist sie, ganz objektiv betrachtet, eine wichtige Säule unserer zukünftigen Stromversorgung. Solarstrom wird dank technologischer Fortschritte weiterhin günstiger werden und sich so über kurz oder lang auch ohne Einspeisevergütung rechnen. ●



Behutsam platziert der Physiker die noch unfertige Zelle auf dem Laserbohrer (oben). Der Clou: Durch die gebohrten Löcher wird der Strom auf die Rückseite geleitet. Die Kontaktstreifen auf der Vorderseite fallen deutlich schmaler aus.

Wenn es was zu sagen gibt

In naher Zukunft werden intelligente Maschinen ihre Handlungen koordinieren, indem sie über Netzwerke Informationen austauschen – eine wahre Datenflut ist die Folge. Doch wie bewältigt man die? Mit einer Form der Kommunikation, die man auch manchen Menschen wünschen würde: Jedes System sendet nur dann, wenn es etwas Relevantes mitzuteilen hat. Bei der Erforschung dieser Methoden half ein mannshoher Würfel, der eigenständig auf einer Ecke balanciert.

von Sebastian Trimpe

Aus einer Vision machte Sebastian Trimpe Wirklichkeit. Damit sein intelligenter Würfel auf einer Ecke stehen kann, braucht er vor allem ein gutes Computernetzwerk.

Der balancierende Würfel ist beim Betreten der Maschinenhalle der ETH Zürich nicht zu übersehen: eine zwei Meter hohe Struktur aus Aluminium, die auf einer Spitze stehend unter leichten Schwingungen ihre Balance hält. Diese Fähigkeit verdankt der Würfel sechs rotierenden Armen an seinen Innenflächen, die ihn durch ihre Bewegungen im Gleichgewicht halten – ähnlich wie ein Stab, der einen Artisten beim Balancieren auf einem Seil unterstützt. Die rotierenden Arme bilden gleichzeitig die intelligenten Einheiten des Systems: Sie nehmen Bewegungen über Sensoren wahr, stellen Berechnungen mit einem Computer an

und kontrollieren ihre Bewegung durch Motoren. Damit das Ganze funktioniert, kommunizieren die Arme über ein Computernetzwerk und bringen so ihre Bewegungen in Einklang.

Den Würfel habe ich im Rahmen meiner Doktorarbeit zusammen mit Kollegen gebaut. Mit seinen intelligenten Armen steht er stellvertretend für die Art technischer Systeme, mit denen ich mich in meiner Arbeit beschäftigt habe: intelligente Maschinen, die miteinander in Verbindung stehen und ohne menschliches Zutun agieren. Solche Systeme sind Stoff einiger Zukunftsvisionen. So arbeiten Forscher weltweit an Robotern, die uns

eines Tages in Gefahrensituationen wie einem havarierten Kraftwerk aus der Klemme helfen sollen. Andere Szenarien sehen selbstfahrende Autos, die sich gegenseitig auf Gefahren hinweisen, oder Produktionsanlagen, in denen Werkstücke mit Maschinen kommunizieren und so ihre Produktion selbst organisieren. Auch Unternehmen haben das Potenzial erkannt. Zum Beispiel der Internet-Gigant Google, der schon vor ein paar Jahren ein selbstfahrendes Auto entwickelt hat und zuletzt durch den Kauf mehrerer Robotik-Unternehmen in den Schlagzeilen war. Und auch die Bundesregierung ist nicht untätig und fördert

Fotos: W. Scheible für bfw



mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 gar die nächste industrielle Revolution vernetzter Fabriken.

Inspirationsquelle und Testobjekt

Wenn viele Maschinen Daten über ein gemeinsames Netz austauschen, sind Regeln für deren Kommunikation nötig. Würden zum Beispiel viele Einheiten alle ihre Sensordaten mehrmals pro Sekunde verbreiten, wäre das Netzwerk bald überlastet. Zumal kaum alle Daten für jeden Teilnehmer von Bedeutung sind. Wer kommuniziert mit wem, und wann? Und welche Daten sind relevant? Diesen Fra-

gen bin ich in meiner Forschung nachgegangen. Der balancierende Würfel diente mir dabei einerseits als Inspirationsquelle und war andererseits herausfordernder Testfall.

Balancieren erfordert die Übertragung von Informationen. Wenn wir beispielsweise mit geschlossenen Augen auf einem Bein balancieren, nehmen spezielle Organe im Innenohr wahr, wie wir gegenüber der Schwerkraft ausgerichtet sind. Diese Information senden sie ans Gehirn. Das berechnet wiederum, wie wir unsere Haltung korrigieren müssen, um nicht umzufallen, und sendet entsprechende Befehle an unsere Muskeln. Dieser Kreislauf aus

DR. SEBASTIAN TRIMPE

1981 geboren in Georgsmarienhütte (Niedersachsen)
2001 Abitur
 Zivildienst
2002 bis 2005 Studium der Allgemeinen Ingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Hamburg-Harburg
2005 Bachelor in Ingenieurwissenschaften
2005 bis 2007 Diplomstudium der Elektrotechnik und Masterstudium in Technologiemanagement an der Technischen Universität Hamburg-Harburg
2007 Gastwissenschaftler an der Universität von Kalifornien, Berkeley (USA)
2007 Diplom in Elektrotechnik und Master of Business Administration für Technologiemanagement
2008 bis 2013 Doktorand am Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich
06.02.2013 Promotion zum Dr. sc.
seit 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen
Infos: www-amd.is.tuebingen.mpg.de/
 Sebastian Trimpe
Kontakt: strimpe@tuebingen.mpg.de

Wahrnehmen, Berechnen und Korrigieren läuft ständig ab, ohne dass wir ihn normalerweise bewusst wahrnehmen. In der Technik nennt man einen solchen Kreislauf einen geschlossenen Regelkreis, der durch Sensoren, Computer und aktive Elemente wie zum Beispiel Motoren umgesetzt wird. Für das Funktionieren eines Regelkreises ist Kommunikation essenziell: Messdaten müssen von den Sensoren zum Computer gelangen und dessen Befehle wiederum zu den Motoren. Im menschlichen Körper werden Informationen durch Nerven übertragen; in der Technik zum Beispiel durch elektrische Leitungen oder Funk.

Keiner hat das Sagen

Um den Würfel zu balancieren, ist es wichtig, seine Ausrichtung gegenüber der Schwerkraft zu kennen. Außerdem müssen die Winkel der Arme in Bezug zum Würfel bekannt sein. Aus diesen Daten und einem speziellen Algorithmus lässt sich zu jedem Zeitpunkt berechnen, wie die Arme ihre Bewegung ändern müssen, um Balance zu halten. Auf dem Würfel hat allerdings keine Einheit alle diese Messdaten zur Verfügung. Jeder Arm misst zwar seinen eigenen Winkel, kennt aber nicht die jeweiligen Winkel der anderen Arme. Da am Balancieren aber alle Arme mitwirken, müssen sie ihre Bewegungen koordinieren und dazu zumindest ungefähr wissen, was die anderen tun. Die besondere Herausforderung besteht also darin, dass keine Einheit alle relevanten Informationen von sich aus

hat und damit ein Informationsaustausch zwischen den Einheiten nötig ist.

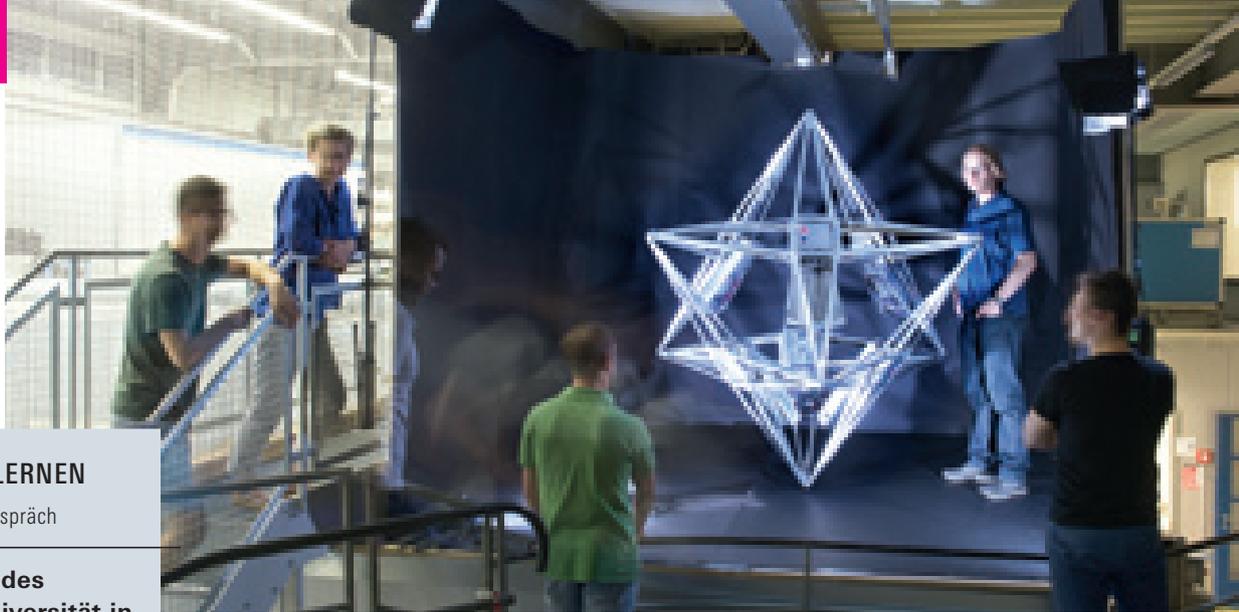
Das Netzwerk, welches diesen Informationsaustausch ermöglicht, stellt eine gemeinsam genutzte Ressource dar: Wenn es gerade Daten einer Einheit transportiert, ist es für die anderen blockiert und deren Datenübertragung wird verzögert. Dieses Phänomen ist aus dem Internet bekannt. Wenn viele Nutzer gleichzeitig versuchen, auf dieselbe Webseite zuzugreifen, vergehen leicht einige Sekunden, bis diese geladen wird. Während wir bei Webseiten oder E-Mails bereit sind, mehrere Sekunden zu warten, ist für einen Regelkreis eine schnelle Datenübertragung unerlässlich. Wenn Sensordaten beispielsweise auf dem Würfel nicht innerhalb einiger Hundertstelsekunden übertragen werden,

kann das System nicht schnell genug reagieren. Der Würfel würde umfallen. Damit nicht unwichtige Daten ein Netzwerk verstopfen und somit möglicherweise wichtige Daten verzögern, habe ich Methoden entwickelt, bei denen der Inhalt der Daten entscheidet. Jede Einheit sendet automatisch immer nur dann, wenn ihre Daten für die anderen relevant sind – genauer: wenn die anderen die Daten nicht sowieso schon kennen oder vorhersagen können.

Betrachten wir als Beispiel die Kommunikation zwischen Alice und Bob. Die beiden imaginären Personen müssen in wissenschaftlichen Texten sehr oft erhalten, wenn Kommunikationstechniken erklärt werden. In unserem Fall sind Alice und Bob Freunde, die sich gut kennen. Bob weiß daher, wie Alice einen typischen Tag verbringt, wo sie wohnt, arbeitet usw. Bob hat also ein Modell von Alices Tagesablauf. Alice hat das Bedürfnis, Bob über ihr Leben auf dem Laufenden zu halten. Dazu telefonieren sie. Damit Bob im Bilde ist, muss Alice ihm allerdings nicht jeden Abend ihren Tagesablauf durchgeben. Täte sie das, ginge ihre Telefonrechnung nur unnötig in die Höhe. Aufgrund seines



Informatiker in Balance:
Auch wenn der Mensch auf einem Bein steht, „berechnet“ das Gehirn die Position des Körpers und bewahrt ihn vorm Umfallen.



WIE ROBOTER DAZULERNEN

Sebastian Trimpe im bdw-Gespräch

Sie waren während des Studiums an der Universität in Berkeley, USA. Wäre das Aus-land nach Ihrer Promotion auch eine Option gewesen?

Ja. Nach meiner Promotion habe ich damit geliebäugelt, eine Postdoc-Stelle an einer renommierten Universität in den USA anzutreten. Schlussendlich haben mich aber die Themen, die Forschungsmöglichkeiten und die langfristige Perspektive meiner aktuellen Stelle dazu bewogen, an das neu gegründete Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme zu wechseln. Das Institut gibt mir zudem die Möglichkeit, durch Forschungskooperationen und Aufenthalte im Ausland meine internationalen Kontakte weiter auszubauen.

Woran arbeiten Sie aktuell?

Ich arbeite an lernenden Algorithmen, mit deren Hilfe dynamische Systeme, wie etwa der Würfel oder ein Roboter, eigenständig dazulernen können. Mit einem lernenden Regler kann der Würfel nicht nur balancieren, sondern dieses mit der Zeit auch immer besser. Das Konzept des Lernens reicht aber noch weiter. Es geht auch um die Fähigkeit, das Balancieren selbst zu lernen oder darum, wie sich eine Maschine auf Veränderungen in der Umgebung einstellen kann.

Wo werden in Zukunft Ihre intelligenten Maschinen im Alltag zum Einsatz kommen?

Zukunftsvisionen für intelligente Maschinen gibt es viele, etwa Roboter als Haushalts-hilfen, intelligente Energienetze, oder autonome Fahr- und Flugzeuge. Mich würde es reizen, meine Arbeit irgendwann in Industrie oder Alltag anzuwenden – ohne dass ich dabei im Moment eine spezielle Maschine im Kopf hätte.

Der elegante Spitzentanz des Aluminiumwürfels ist in der Maschinenhalle der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich zu bewundern.

Modells kann Bob ja ohnehin vorhersagen, was Alice an einem normalen Tag macht. Auch sind für Bob nicht alle Details wichtig. So genügt es ihm zu wissen, dass Alice morgens zur Arbeit geht. Wie spät genau, ist für ihn nicht von Bedeutung. Wenn allerdings ein unerwartetes Ereignis eintritt (zum Beispiel ist Alice für drei Tage krankgeschrieben), kann Bob das anhand seines Modells nicht vorher-sagen und es ergibt Sinn, dass Alice zum Hörer greift. Nach ihrem Telefonat weiß Bob wieder, wie die nächsten Tage in Alices Leben ablaufen werden.

Diese Idee habe ich auf die Kommunikation zwischen Maschinen übertragen. Wesentlich sind dafür mathematische Modelle, die das zeitliche Verhalten eines Systems beschreiben. Die Modelle sagen zum Beispiel vorher, wie sich der Würfel und seine Arme nach den Gesetzen der Physik bewegen werden. Jeder Arm auf dem Würfel kann mit einem solchen Modell berechnen, wie sich die anderen Arme bewegen, ohne die tatsächlichen Messungen zu kennen. So wie auch Bob an normalen Tagen ohne Alices Anruf voraussagen kann, was sie tun wird. Weil die Modelle die Wirklichkeit nicht genau abbilden, stimmen die Vorhersagen irgendwann nicht mehr. Auf unser Freun-despaar übertragen: Alice ist krank zu Hause, Bob aber geht davon aus, sie wäre bei der Arbeit. Deshalb ist jeder Arm auf dem Würfel dafür verantwortlich, Abweichungen zwischen Modell und Realität für seine Sensordaten zu überwachen und, wenn nötig, aktuelle Daten zu schicken. Wenn die Abweichung

zwischen tatsächlicher und vorhergesagter Messung zu groß ist, sendet der Arm neue Daten. Ist die Abweichung hingegen gering, ist keine Datenübertragung nötig, denn die Vorhersagen der anderen sind bereits gut genug.

Roboter und Autos unter sich

Weil bei dieser Art der Kommunikation Daten statt zu festen Zeiten nur zu bestimmten Ereignissen übertragen werden, spricht man von ereignisbasierter Kommunikation. In den meisten herkömmlichen Regelkreisen werden Daten hingegen zeitbasiert gesendet. Das liegt daran, dass die Analyse und der Entwurf solcher Regelsysteme einfacher sind. Gerade bei Netzwerken mit vielen Teilnehmern ist zeitbasierte Kommunikation aber oft unbefriedigend: Sie kann wichtige Daten verzögern, nutzt vorhandene Ressourcen nur mangelhaft, weil auch Unwichtiges gesendet wird, und führt somit zu hohen Kosten für überdimensionierte Netzwerke.

Auf dem Würfel konnte ich die zum Balancieren nötige Datenmenge durch ereignisbasierte Kommunikation deutlich reduzieren. Weil die Methoden auf mathematischen Modellen und damit einer abstrakten Beschreibung der zugrunde liegenden Systeme basieren, lassen sie sich leicht auf andere technische Systeme übertragen. Und so hoffe ich, dass ich mit meiner Forschung dazu beitrage, dass sich Roboter, Autos oder andere intelligente Maschinen in Zukunft ihren Artgenossen mitteilen – aber nur dann, wenn sie auch etwas zu sagen haben. ●

Wenn das Fliegenbaby auf sich warten lässt

Die Ursachen unerfüllten Kinderwunsches bleiben oft unerkannt. Fruchtfliegenfamilien beklagen sich hingegen selten über ausbleibenden Nachwuchs. Untersuchungen an einem Gen, das bei Fruchtfliegen zu Unfruchtbarkeit führt, geben Hinweise auch auf mögliche Ursachen für die Zeugungsunfähigkeit bei Männern.

von Karen Linnemannstöns

Jeder kennt es: Hochsommer, Sie wollen die Schale der saftigen Wassermelone entsorgen und aus dem Biomüll kommt Ihnen ein Schwarm kleiner Fruchtfliegen entgegen, die sich sofort in der ganzen Küche verteilen. Dabei haben Sie den kleinen grünen Eimer doch erst gestern geleert und geschrubbt. *Drosophila melanogaster* oder auch schwarzbäuchige Taufliege nennen sich diese in jeder Hinsicht gemeinen Fruchtfliegen und sie sind meist fruchtbar und vermehrungsfreudig.

Bis zu 400 Eier legt eine Fruchtfliege in ihrem kurzen Leben. So könnte eine einzige Fruchtfliege am Ende ihres Lebens, also nach nur etwa einem Monat, mehrere Millionen Urenkel und Urenkelinnen in Ihrer Küche einquartiert haben. Das klappt natürlich nur, wenn die Eier vorher von einer männlichen Fliege befruchtet werden. Wie beim Menschen legen die Spermien des Fruchtfliegenmannes von ihrer Produktionsstätte im Hoden einen langen Weg durch den Samenleiter zurück, bevor sie sich in der weiblichen Fruchtfliege auf Wanderschaft Richtung Eizelle begeben können. Ist der (Fliegen-)Mann gesund, bekommen die Spermien dafür aus einer Drüse Proviant mit auf den Weg und werden dank der Muskelkraft der männlichen Ejakulation beschleunigt und Richtung Ziel katapultiert.

Da das fabelhaft klappt, ist der Fliegenschwarm, der Sie in Ihrer Küche flu-

chen lässt, des Forschers Traum: Die kleinen obstliebenden Fliegen vermehren sich schnell und sind anspruchslos und eignen sich daher hervorragend als biologisches Forschungsobjekt. Nicht nur ihre Vermehrungsfreudigkeit macht sie zu einem geschätzten Modell: Mindestens 60 Prozent der Gene dieses Insekts haben ein Gegenstück im menschlichen Erbgut. Genetische Untersuchungen an Fruchtfliegen können also wichtige Erkenntnisse zu Erkrankungen des Menschen liefern.

Für meine Doktorarbeit wollte ich eigentlich Genveränderungen, die in bestimmten Krebszellen beim Menschen beobachtet werden, in der Fruchtfliege erzeugen und untersuchen. Leider zeugten meine genetisch veränderten Fliegenfamilien keine Nachkommen: Anstatt in der weiblichen Fliege zu landen, prallten Massen von Spermien mit voller Wucht gegen eine Wand. Doch das entdeckte ich erst viel später. Vom Krebsgen zum Fruchtbarkeitsgen? Wie passt das zusammen?

Eingriff mit genetischer Bastelschere

Ursprünglich interessierte ich mich für die Funktionsweise eines Gens namens off-track, das Zellen animiert, sich zu bewegen, und das auch bei Krebserkrankungen eine Rolle spielt. Dazu nahm ich zunächst eine Art genetische Bastelschere, die sogenannte Flipase, schnitt damit das

Gen off-track aus und klebte die Enden wieder zusammen. So bekam ich eine Fliege, die alles hat, was andere Fliegen auch haben, außer diesem Gen. Ein so im Labor genetisch verändertes Tier nennt man „Knock-out“, weil das Gen „herausgehauen“ wurde. Normale Tiere ohne genetische Veränderungen bezeichnet man auch als „wildtypisch“. Wozu macht man so etwas? Gene enthalten die Grundinformation zur Herstellung von Proteinen, den Bausteinen der Zellen unseres Körpers. Dafür werden diese Gene transkribiert, das heißt abgeschrieben, und anhand der gebildeten Matrize werden die entsprechenden Proteine hergestellt. Die Ursache vieler Erkrankungen ist eine Veränderung in einem bestimmten Gen, die dazu führt, dass das vom Gen abstammende Protein nicht oder fehlerhaft gebildet wird. Auch wenn das gesamte Erbgut bereits entschlüsselt werden konnte, bedarf es noch eines hohen Forschungsaufwandes, um zu verstehen, welche Gene krankheitsrelevant sind. Mithilfe eines Knock-outs kann man die Folgen eines kompletten Gen- und damit auch Proteinverlustes studieren.

Ehrlich gesagt, hatte ich gehofft, meine Knock-out-Fliegen würden sterben, denn das hätte bedeutet, dass das von mir ausgeschaltete Gen lebenswichtig ist. Aber die Fliegen waren putzmunter. Ich schaute rechts und links neben die Klebestellen und entdeckte, dass das benach-

Fotos: S. Kröger für baw



Herrin der Fliegen:
Mit Geschick und
Ausdauer kam Karen
Linnemannstöns dem
Paarungserfolg und
-misserfolg der Insekten
auf die Spur.

DR. KAREN LINNEMANNSTÖNS

1984 geboren in Braunschweig

2003 Abitur

2003 bis 2006 Bachelorstudium
der Molekularen Medizin an der
Georg-August-Universität Göttingen

2006 bis 2008 Masterstudium der
Molekularbiologie an der International
Max Planck Research School Göttingen
und dem Karolinska-Institut Stockholm
in Schweden

2008 Master in Molekularbiologie

2008 bis 2013 Doktorandin in der
Abteilung Stammzellbiologie an der
Universität Göttingen

23.01.2013 Promotion zum Dr. rer. nat.

seit 2013 Postdoc in der Abteilung
Stammzellbiologie an der Universität
Göttingen

Infos: [www.stammzellen.med.
uni-goettingen.de/index.html](http://www.stammzellen.med.uni-goettingen.de/index.html)

Kontakt: klinnem1@uni-goettingen.de



barte, etwas kleinere Gen dem off-track sehr ähnlich ist. Zugegebenermaßen wenig einfallreich nannte ich es off-track2 und schnitt es kurzerhand auch aus. So erzeugte ich drei verschiedene Knock-out-Fliegen: Den einen fehlte das große Gen, den anderen das kleine und den dritten fehlten beide. Doch selbst diese Doppelmutation konnte den Fliegen nichts anhaben! Ich war enttäuscht und ratlos – hatten doch andere wissenschaftliche Studien bereits off-track allein eine lebenswichtige Funktion zugeschrieben. Durch weitere Versuche wurde jedoch deutlich, dass sich die in hochrangigen wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichten Funde zu off-track nicht bestätigen ließen.

Erst kurze Zeit später fand ich jedoch heraus, dass beide Gene auf andere Art lebenswichtig sind – überlebenswichtig für die Art: Ein Teil meiner Fliegen ver-

mehrte sich einfach nicht mehr! Männliche Fliegen, bei denen sowohl das von der Mutter als auch das vom Vater erhaltene Erbgut diese Doppelmutation aufwies, zeugten keine Nachkommen – sie waren komplett zeugungsunfähig, sprich steril.

Lustlose Fliegenmännchen?

Menschen in dieser Situation würden das nächstgelegene Kinderwunschzentrum aufsuchen. Auch ich machte mich auf die Suche nach der Ursache für den ausbleibenden Nachwuchs und so kam ich bei meiner Arbeit am off-track-Gen – was übrigens übersetzt „auf dem falschen Weg“ heißt – vom anfangs beabsichtigten Weg ab. Ziemlich schnell konnte ich ausgereifte und befruchtungsfrohe, sich energisch bewegende Spermien in den Hoden der Knock-out-Fliegen filmen. Die Spermien waren also gesund – schafften es die

Fruchtfliegenmännchen nicht, ein Weibchen von ihren Vorzügen zu überzeugen? Meine Kollegin Caro beobachtete übers Wochenende das Paarungsverhalten meiner Fliegen und begrüßte mich am Montagmorgen mit den Worten: „Annäherungsversuche und Akt sind völlig unauffällig!“

Immer noch auf der Suche nach der Ursache für den ausbleibenden Nachwuchs statteten Caro und ich die Fliegen dank eines weiteren genetischen Tricks mit Spermien aus, die grell-grün leuchten, wenn sie mit kurzweiligem Licht bestrahlt werden. Diese Männchen verpaarten wir mit normalen, das heißt wildtypischen Weibchen und untersuchten anschließend den weiblichen Geschlechtstrakt unter dem Mikroskop. Führt man dieses Experiment mit Männchen durch, die nur mit grünen Spermien versehen werden, aber ansonsten genetisch unverändert sind,

Im Wärmeschrank lagern die Furchtfliegenlarven bei 25 Grad Celsius – so entwickeln sie sich schneller.

ICH HÄTTE ES NICHT GEGLAUBT

Karen Linnemannstöns im bdw-Gespräch

Die Geschlechtsorgane von Fliegen freizulegen ist eine extreme Fitzelarbeit. Hat Ihnen das Spaß gemacht, oder war es ein notwendiges Übel?

Wenn mir jemand zu Beginn meiner Doktorarbeit gesagt hätte, dass ich Stunden und Tage damit verbringen würde, Fliegen-Geschlechtsorgane herauszupulen, hätte mich das amüsiert, aber ich hätte es nicht geglaubt. Diese Tätigkeit hat sich im Rahmen des Projekts ergeben, macht mir aber in der Tat viel Spaß, da mir das Hantieren mit Mikro-Pinzetten und anderen Kleingeräten liegt.

Inwiefern lassen sich Ihre Erkenntnisse über Unfruchtbarkeit auf Menschen übertragen?

Bisher wurden keine krankheitsrelevanten Mutationen im humanen Gegenstück des von mir untersuchten Gens beschrieben. Es liegt aber nahe, dass sterile Männer und insbesondere solche mit Samenleiterverengung eine Mutation im PTK7-Gen tragen. Sollte sich diese Hypothese bestätigen, wäre das ein diagnostischer Marker für Unfruchtbarkeit. Derartige Marker ließen sich mit einem Bluttest nachweisen und würden betroffenen Paaren unangenehme Untersuchungen ersparen.

Sie haben zwei kleine Töchter. Wie gut klappt bei Ihnen die Vereinbarung von Kindern und Karriere?

Im Moment klappt es super, denn mein Partner hat wegen unserer kleinen Tochter Elternzeit und hält mir den Rücken frei. Zudem habe ich großes Glück, denn ich habe tolle Kollegen, die mich unterstützen. Und mein Doktorvater erwartet nicht, dass ich abends lange im Labor stehe, ihn interessieren die Ergebnisse. Dadurch kann ich mir meine Arbeitszeit frei einteilen.

wimmelt es nach der Verpaarung in den Weibchen vor grünen Spermien. Im Gegensatz dazu konnten wir überhaupt keine Spermien meiner Knock-out-Fliegen in den spermienpeichernden Organen des Weibchens nachweisen.

Wir hatten eine heiße Spur: Die Spermien kamen also nicht aus den Männchen raus – aber sie werden ja gebildet, wo bleiben sie denn dann? Um diese Frage zu klären, blieb mir nichts anderes übrig, als den kompletten Geschlechtstrakt der männlichen Fruchtfliegen, die selbst nur stecknadelkopfgroß sind, freizulegen und mikroskopisch zu untersuchen. Mit winzigen Pipetten ausgestattet verschwand ich für einige Zeit am Präpariertisch und raubte den Männchen ihre Männlichkeit, um sie anschließend Schicht für Schicht unter dem Mikroskop zu studieren. Während sich meine Kollegen auf dem Weihnachtsmarkt vergnügten, machte ich mich zunächst mit dem Aufbau des Geschlechtstraktes von wildtypischen Männchen vertraut. Danach untersuchte ich die genetisch veränderten sterilen Männchen auf dieselbe Art und Weise, und die Diagnose stand fest: Der Patient leidet unter Samenstau! In meiner Knock-out-Fliege ist der Samenleiter stark verkürzt und außerdem so stark verengt, dass der Austritt der Spermien komplett verhindert wird.

Ein Verlust von off-track und off-track2 lässt Fliegenmänner also unfruchtbar werden. Was passiert, wenn das Gen off-track statt gar nicht übermäßig stark abgelesen wird? In diesem Fall gibt es im Körper viel mehr Proteine, die nach Vorlage des Gens gebildet werden, als bei normalen Tieren. Die benötigte Menge an Proteinen ist nämlich nicht direkt im Gen vorgegeben, sondern wird durch ein komplexes Zusammenspiel an biochemischen Prozessen gesteuert. Um auch diese Frage beantworten zu können, bastelte ich mir eine solche Fliegenfamilie. Die Fliegenmännchen waren uneingeschränkt zeugungsfähig. Überraschenderweise fand ich stattdessen bei den Weibchen, denen der Verlust der beiden Gene nichts anhaben konnte, verengte Eileiter – sie waren ebenfalls unfruchtbar. Eine korrekte Funktion des off-track-Gens ist also für die Entwicklung eines fruchtbaren Geschlechtstraktes unerlässlich.

Ob sich die Ergebnisse an meinem Modellobjekt Fruchtfliege auch auf die Befruchtungsvorgänge bei Menschen übertragen lassen, konnte ich leider bisher nicht überprüfen, aber eine entsprechende Studie ist in Planung!

Eines ist jedoch sicher: Wenn ein Fliegenpärchen eine Familie in Ihrer Küche gründen will, braucht sie genau die richtige Menge an off-track-Produkten. Um dem Schwarm Fliegen in Ihrer Küche Herr zu werden, könnten Sie sich also eine genetisch veränderte Fruchtfliegenfamilie wünschen – oder einfach noch öfter den Biomüll runterbringen. ●

Patient im Miniaturformat: *Drosophila melanogaster* eignet sich wegen ihrer genetischen Ähnlichkeit gut für die Erforschung menschlicher Krankheiten.



Mathematischer Modellbau

In den Logistiknetzen großer Unternehmen werden täglich Tausende verschiedene Artikel von unterschiedlichster Beschaffenheit zwischen ebenso vielen Standorten transportiert. Mithilfe computergestützter Optimierungsverfahren können diese Transportvorgänge besser geplant und so viel Geld eingespart werden. Dabei kommt es zunächst einmal darauf an, die Wirklichkeit in einer für den Computer verständlichen Sprache zu beschreiben – einem mathematischen Modell.

von Jannik Matuschke



Wer schon einmal den eigenen Umzug organisiert hat, weiß um die damit einhergehenden planerischen Herausforderungen. Wie packe ich alles in möglichst wenige Kartons, ohne dass einzelne Kartons zu schwer werden? Wie viele Helfer werden wann und wo benötigt? Wie oft muss der Umzugswagen fahren? Schaffen wir es, unterwegs noch den alten Kühlschrank beim Schrotthändler abzustellen, und vielleicht sogar, die neue Waschmaschine abzuholen?

Ganz schön viele Entscheidungen – dabei ist ein Umzug noch ein vergleichsweise kleines logistisches Unterfangen. Man kann sich vorstellen, wie kompliziert es erst wird, wenn es statt eines Umzuges um

die Lieferkette eines großen Unternehmens geht, zum Beispiel die Belieferung der Werke eines Automobilherstellers oder der Filialen einer Supermarktkette. Lässt sich unser eingangs geschilderter Umzug noch gut im Kopf planen, so sind bei solchen komplexen Planungsproblemen selbst erfahrene Experten auf die Unterstützung eines Computers angewiesen.

Hier kommt die Mathematik ins Spiel. Denn damit der Computer etwas Sinnvolles zur Lösung des Problems beitragen kann, benötigt man zunächst ein Modell – eine Beschreibung des zu lösenden Problems in mathematischer Sprache. Basierend auf diesem Modell wird dann ein Algorithmus entwickelt, ein Computerprogramm, das eine möglichst gute Lösung für das im Modell beschriebene Problem berechnet. Mit der Entwicklung ebensolcher Modelle und Algorithmen beschäftigte ich mich in meiner Dissertation. Dabei war ich Teil eines Teams aus Mathematikern der TU Berlin und Logistikexperten des Beratungsunternehmens 4flow AG, die gemeinsam an neuen

Wegen zur Modellierung und Lösung logistischer Transportprobleme forschten.

Die Entwicklung eines praxistauglichen Modells ist ein Balanceakt: Zum einen soll es die Realität natürlich möglichst genau abbilden, zum anderen darf es nicht mit zu vielen komplexen Details überfrachtet werden, denn schließlich stoßen auch moderne Computer irgendwann an ihre Grenzen. Deshalb kommt es beim mathematischen Modellbau auf den Blick fürs Wesentliche an, nämlich den Zusammenhang zwischen den Entscheidungen des Planers und den daraus resultierenden Kosten.

Wie beim Kartoffeln kaufen

Eine der wichtigsten Maßnahmen in der Logistik ist die Konsolidierung, das Zusammenfassen von Ladungen. Diese nutzt aus, dass die Stückkosten für den Transport eines Gutes sinken, je größer die Ladung ist. Sie kennen dieses Phänomen vermutlich vom Einkauf: Der Zehn-Kilo-Sack Kartoffeln kostet in der Regel pro Kilo weniger als das kleine Zwei-Kilo-Netz. Genauso verursacht ein Zehn-Tonnen-Transport pro Tonne Ladung weniger Kosten als ein Zwei-Tonnen-Transport über die gleiche Strecke.

In der Transportplanung werden diese Zusammenlade-Effekte durch geschicktes Wählen von Transportwegen und Lieferfrequenzen, also der Häufigkeit der Transporte, erreicht. Verdeutlichen wir uns das an einem kleinen Beispiel: Das

Fotos: D. Gost für bfw

DR. JANNIK MATUSCHKE

1984 geboren in Meschede
2003 Abitur
 Zivildienst
2004 bis 2007 Studium der Mathematik und Informatik an der Universität Dortmund
2007 bis 2009 Studium der Mathematik an der TU Berlin
2009 Diplom in Mathematik
2009 bis 2013 Doktorand am Institut für Mathematik der TU Berlin
10.12.2013 Promotion zum Dr. rer. nat.
2013 bis 2014 Forschungsaufenthalt an der Universität von Chile in Santiago de Chile
seit 2014 Postdoc am Institut für Mathematik der TU Berlin
Infos: www.coga.tu-berlin.de/people/matuschke
Kontakt: matuschke@math.tu-berlin.de

Kein Kinderspiel: Der Transport von Gütern ist eine komplexe Angelegenheit. Dabei kommt es vor allem auf eine optimale Beladung und gut gewählte Lieferwege und -frequenzen an.

Werk eines Automobilherstellers benötigt jeden Tag eine bestimmte Menge Felgen. Anstatt diese täglich in kleinen Mengen anzuliefern, könnte auch der gesamte Wochenbedarf in einer einzigen wöchentlichen Lieferung transportiert werden. Dies wäre mit geringeren Transportkosten verbunden, verursacht aber auch neue Kosten für die Lagerung der Felgen. Alternativ könnten die Felgen auch zunächst in ein Zentrallager gebracht und von dort aus mit anderen Gütern gemeinsam zum Werk transportiert werden. Auch so wird ein größeres Transportvolumen erreicht, jedoch bedeutet der Weg über das Lager auch einen Umweg im Vergleich zu einer direkten Anlieferung ins Werk. Um die Kosten gering zu halten, müssen Lieferwege und -frequenzen also mit Bedacht gewählt werden.

In der Realität besteht das Logistiknetzwerk natürlich aus zahlreichen Werken, Zentrallagern und Zulieferern, die verschiedenste Artikel bereitstellen. Für all diese müssen Transportwege und Lieferfrequenzen festgelegt werden. Herkömmliche Modelle vereinfachen das Problem, indem sie die Wege und Fre-

quenzen in zwei voneinander getrennten Schritten berechnen. Dies führt jedoch dazu, dass die beiden Teile der Lösung schlecht aufeinander abgestimmt sind. Aber ist es auch möglich, beides in einem einzigen Modell zusammenzufassen, ohne dass dieses zu kompliziert wird? In unserem Projekt fanden wir die Lösung.

Ein Netzwerk für jeden Wochentag

Eine bewährte Methode, logistische Transportvorgänge mathematisch zu modellieren, sind Netzwerkflüsse. Ein Netzwerk besteht aus Knoten, die die verschiedenen Standorte darstellen. Zwischen den Knoten verlaufen Kanten, die die möglichen Transportverbindungen darstellen. Der Fluss eines bestimmten Frachtguts durch das Netzwerk wird nun durch die jeweiligen Mengen des Guts beschrieben, die entlang jeder Kante transportiert werden. Die Flüsse aller Güter zusammen ergeben einen Mehrgüterfluss. Auch unser Modell basiert auf einem solchen Mehrgüterfluss. Der Fluss beschreibt also die Wege der Güter in unserem Netzwerk. Aber wo bleiben nun

die Lieferfrequenzen? Hier kam mir die Idee, auf eine sogenannte Netzwerk-Expansion zurückzugreifen: Für jeden Wochentag wird eine Kopie des Netzwerks angelegt. Jeder Knoten erhält außerdem eine zusätzliche Kante, die zur Kopie desselben Knotens am darauffolgenden Tag führt. Diese zusätzlichen Kanten, „Lagerkanten“ genannt, können nun dazu genutzt werden, den Transport von Gütern zu verzögern, und so eine niedrigere Lieferfrequenz zu modellieren. Dazu wird ein Gut entlang der Lagerkante „in der Zeit transportiert“, zum Beispiel vom Montags- zum Dienstagknoten. So kann beispielsweise das gesamte wöchentliche Liefervolumen eines Zulieferers an einem Tag angesammelt werden und auf einen Schlag transportiert werden. Ein Mehrgüterfluss in diesem expandierten Netzwerk definiert also nicht nur die Lieferwege, sondern auch die zugehörigen Frequenzen.

Welche Kombination aus Wegen und Frequenzen die beste ist, hängt natürlich entscheidend von den Transportkosten ab. Deshalb sollten auch diese möglichst exakt modelliert werden. Logistikanbieter



Waren unterwegs ins Lager: Ihr Transport verursacht schnell hohe Kosten. Jannik Matuschke hat ein Verfahren entwickelt, mit dem Unternehmen viel Geld sparen können.



WIDER CLEVERE SCHWARZFAHRER

Jannik Matuschke im bdw-Gespräch

Wie hat Ihr letzter Umzug geklappt – haben Sie ihn mit Ihrem mathematischen Modell optimiert?

Bei meinen letzten beiden Umzügen – von Deutschland nach Chile und zurück – kam ich zum Glück mit zwei Koffern aus. Ausgeklügelte Optimierungsverfahren waren dafür nicht nötig. Aber wie in dem Modell war auch hier das geschickte Packen wichtig, um Koffervolumen und Gewichtsgrenzen optimal auszunutzen.

Wie hilft Ihnen die Mathematik im Alltag?

Bei praktisch allen Dingen, mit denen wir zu tun haben, steckt eine ganze Menge Mathematik „unter der Haube“: von der Wegfindung des Navigationssystems über den optimierten Fahrplan der U-Bahn bis zum kryptographisch abgesicherten Online-Banking. So gesehen ist ein Alltag ohne Mathematik für mich nur schwer vorstellbar. Auf persönlicher Ebene hilft die intensive Beschäftigung mit Mathematik dabei, auch im Alltag an Probleme mit Logik heranzugehen – was in den meisten Fällen ja keine so schlechte Idee ist.

Sie waren kürzlich in Chile.

Was haben Sie dort gemacht?

Mit den Kollegen in Santiago habe ich ein halbes Jahr lang an verschiedenen mathematischen Optimierungsproblemen geforscht. Unter anderem haben wir ein Modell zur besseren Planung von Ticketkontrollen in Bus- und Bahn-Netzen entwickelt. Dabei kommt es darauf an, die Reaktion der Fahrgäste zu berücksichtigen – unsere Algorithmen simulieren also sozusagen den cleveren Schwarzfahrer, der versucht, den Kontrolleuren aus dem Weg zu gehen. Die wunderschönen Landschaften Chiles habe ich zwischendurch natürlich auch bereist – mit gültigem Ticket, versteht sich.



Wie lässt sich ein Umzugskarton optimal packen? Jannik Matuschke und die Kollegen aus seiner Arbeitsgruppe haben die richtige Formel dafür.

ter geben ihre Tarife in der Regel in Form von umfangreichen Tabellen an, die die Kilometerpreise in Abhängigkeit von Gewicht und Volumen der Ladung festlegen. Da der Zusammenhang zwischen Frachtmenge und Kosten ziemlich komplex werden kann, wurde dieser bislang stets vereinfacht modelliert, zum Beispiel wurde nur das Gewicht, nicht aber das Volumen der Fracht berücksichtigt.

Um die Kosten in unserem Modell realistischer abzubilden, es aber gleichzeitig für den Computer beherrschbar zu halten, nutzen wir einen Trick, der uns wieder zu unserem Bild der Umzugsplanung zurückbringt: Für jeden Eintrag in der Tariftable wird im Modell ein „virtueller Umzugskarton“ angelegt. Dieser hat jeweils eine Obergrenze für Volumen und Gewicht, das in ihm transportiert werden kann, und einen Preis, alles entsprechend den Werten in der Tabelle. Die Kosten für den Transport einer Ladung errechnen sich dann als Gesamtpreis der Kartons, die notwendig sind, um alle Güter darin zu verpacken. In der Realität kann so ein virtueller Karton dann zum Beispiel der Teilladung eines LKW's entsprechen, die man in dem entsprechenden Tarif zur Verfügung hat.

Die Analogie geht noch tiefer: Packt man beim Umzug nur schwere Bücher in einen Karton, so muss man ihn halb leer lassen, da sonst der Boden reißt. Mischt man aber Bücher und leichtere Gegenstände, so kann man das volle Volumen des Kartons gut ausnutzen. Letztendlich benötigt man so weniger Kartons. Genauso lassen sich in unserem Modell nun durch geschicktes Zusammenpacken von Gütern Einspareffekte erzielen, die in

herkömmlichen Modellen verborgen blieben. Diese Packarbeit übernimmt ein spezialisiertes Unterprogramm, sozusagen ein Umzugshelfer, der effizientes Packen besonders gut beherrscht.

Ein vollständiger Transportplan wird in unserem Modell also durch einen Mehrgüterfluss im expandierten Netzwerk zusammen mit den notwendigen Kartons für den Transport auf jeder Kante beschrieben. Bei der Entwicklung des Lösungsalgorithmus lässt sich nun ein entscheidender Vorteil der von uns verwendeten Modellierungstricks ausspielen: Der Algorithmus braucht von ihnen nichts zu wissen! Das Verpacken übernimmt schließlich das Unterprogramm, und die Expansion macht das Netzwerk zwar größer – es wird aber immer noch ein einfacher Mehrgüterfluss gesucht. Dass er ganz nebenbei Entscheidungen über die Häufigkeit der Lieferungen trifft, bemerkt der Algorithmus gar nicht.

Deshalb lassen sich nun bewährte Techniken zum Berechnen von Flüssen in Netzwerken mit nur leichten Anpassungen für unser Modell einsetzen. Ein probates Mittel dafür stellt beispielsweise die lokale Suche dar. Diese verbessert einen bestehenden Mehrgüterfluss in kleinen Schritten, indem sie einzelne Lieferungen umleitet, bis keine Möglichkeit einer Verbesserung mehr gefunden wird.

Ihren nächsten Umzug mit unserem Modell zu planen, wäre wohl etwas übertrieben. Aber Unternehmen mit großen Logistiknetzwerken können durch das neue Verfahren viel Geld sparen – in einem Test erreichten wir eine Kostensenkung von 14 Prozent beziehungsweise 1,6 Millionen Euro im Jahr. ●

Wissen wird lebendig

Ein Unterrichtsfach „Präsentieren“ gibt es noch nicht. Dabei wird diese Fähigkeit immer wichtiger. Mit dem Projekt „Jugend präsentiert“ will die Klaus Tschira Stiftung diese Kompetenz von Schülern stärken.

von Claudia Eberhard-Metzger

Das Lernziel des Tages könnte von Wilhelm Busch stammen: „Er sagt es klar und angenehm, was erstens, zweitens und drittens käm.“ So reimte der Dichter im Jahr 1872 – und der Anspruch, den der Altmeister an einen guten Vortrag stellte, gilt bis heute: Verständlich soll das Dargebotene sein, ansprechend formuliert und so strukturiert, dass der Zuhörer ohne Mühe folgen kann. „Präsentationskompetenz“ heißt das Gesamtpaket dieser Fähigkeiten in zeitgenössischer Ausdrucksweise. Mittlerweile sind sie fester Bestandteil von Abschlussprüfungen an Schulen und gehen in die Benotung ein.

Was dem einen oder anderen als Buch mit sieben Siegeln erscheinen mag, lässt sich in eine überschaubare Zahl klar definierter Elemente gliedern – und Schritt für Schritt einüben. Genau dazu sind die rund 60 Jungen und Mädchen im Alter von 12 bis 18 Jahren an einem Wochenende im Juni 2014 auf Einladung der Klaus Tschira Stiftung in die Heidelberger Villa Bosch gekommen.

Es ist früher Morgen und im Seminarraum tagt die „Performanzgruppe“. Zwölf Jungen und Mädchen sitzen im Kreis und hören aufmerksam ihrer Trainerin Lena Metzger zu. Viele bunte Zettel kleben auf dem Flipchart hinter der Rhetorikstudentin der Universität Tübingen: „Mimik“, „Stimme“ und „Blickkontakt“ ist auf ihnen zu lesen, sowie „Verhalten im Raum“, „Körpersprache“ und „Fülllaute wie ähm, ja also, jetzt“. Man müsse sich vergegenwärtigen: All diese Phänomene bekommen eine Bedeutung, sobald der Präsentierende vor sein Publikum tritt, erklärt Metzger.



Die Teilnehmer der Präsentationsakademie machen das Gelände der Klaus Tschira Stiftung kurzerhand zur Bühne für ihr Videotraining.



Das „Multimedia-Karaoke“ verlangt Improvisationstalent: Die Schüler sollen spontan zu einer Präsentation sprechen, die sie nicht kennen. Es geht um Imkerhonig aus Berlin.

Dann fordert sie die Schüler auf, selbst „ins Rampenlicht“ zu treten und eine Präsentationssituation zu trainieren. „Multimedia-Karaoke“ nennt Metzger das Spiel. Die Aufgabe ist nicht einfach: Den Schülerinnen und Schülern werden mit dem Beamer Folien gezeigt, deren Inhalte sie nicht kennen – dazu sollen sie spontan sprechen.

Jan-Philipp ist der erste, der sich traut. „Chemie für Leckermäuler“ steht als Titel auf der Eingangsfolie. Selbstbewusst meistert der 15-jährige Schüler die Herausforderung und erläutert eloquent, was er auf den Folien sieht. Nach zwei Minuten übernimmt ein anderer aus seiner Gruppe. Metzger filmt jeden Vortragenden mit einer Videokamera. Auf die Prä-

Fotos: T. Wegner für bdiw

sentationen folgt jeweils eine Feedbackrunde. Dafür gibt die Trainerin Regeln vor: zuerst das Positive nennen und jeden Kommentar als subjektive Ich-Botschaft formulieren. Der Vortragende solle die Rückkopplung als Geschenk betrachten, betont Metzger: Ihm allein obliege es zu entscheiden, was er von dem Genannten annehmen und künftig umsetzen möchte.

Passende Gesten und Blickkontakt

Jan-Philipp habe eine angenehme Stimme, spreche deutlich und langsam und setze seine Gesten passend zum Inhalt ein, lautet das Urteil der Teilnehmer. „Vielleicht machst du ab und zu einen Schritt auf dein Publikum zu“, rät die Trainerin. „Das bindet die Aufmerksamkeit.“

Viel Lob erntet auch Charlotte. Die 19-Jährige ist mit der Präsentation zum Thema „Wie leben die Menschen in den Tropen?“ konfrontiert und hat es schwer, weil die Folien zwar viele schöne Bilder zeigen, aber kaum erklärenden Text enthalten. Charlotte weiß zu improvisieren.



Eine Präsentation stellt viele verschiedene Anforderungen an den Vortragenden.

Ihre Zuhörer loben die positive Ausstrahlung, ihre Präsenz im Raum und ihre Sprache, die weitgehend ohne Fülllaute auskommt. Charlottes größte Stärke sei, dass sie das Publikum einbeziehe und stets Blickkontakt zu den Adressaten suche, fasst die Trainerin zusammen.

Abschließend erklärt Lena Metzger: Die Präsentation der unbekannteren Inhalte verlange volle Konzentration – nur so trete die natürliche Körpersprache hervor und es zeigten sich Verhaltensweisen, die für Stresssituationen typisch seien. Die

Präsentieren lernen

Alle Informationen und Termine zur Präsentationsakademie und zum Wettbewerb gibt es unter www.jugend-praesentiert.info



Die Schülerinnen arbeiten intensiv an der Aufgabe, ein Erklärvideo zu drehen zum Thema „Warum ist die Banane krumm?“.

Körpersprache sichtbar zu machen, sei das eigentliche Ziel der Videoanalyse gewesen.

Im Garten der Villa sind indes Filmteams unterwegs: Regisseure, Moderatoren, Kameraleute, Souffleusen und Assistenten, die alle an einem Video arbeiten, das einen komplexen Sachverhalt erklärt. Die Themen: „Warum ist die Banane krumm?“ und „Die Mendelschen Regeln“. Thomas Susanka hat die Schüler auf die Aufgabe vorbereitet. Er gehört – ebenso wie die anderen Trainer – zum Seminar für Allgemeine Rhetorik an der Eberhard Karls Universität Tübingen. Das Seminar entwickelt Konzepte sowie Lehr- und Lernmaterialien für das Projekt und führt Lehrertrainings und die Präsentationsakademie durch.

Was gehört in ein Storyboard?

Im Theorieteil hat er erklärt, wie ein ausformuliertes Drehbuch aussieht und wie passende Bildideen in einem Storyboard festgehalten werden. „Die Schüler müssen sich vorab gut überlegen, wie das fachliche Wissen für das Medium Film verständlich, attraktiv und adressatenbezogen aufgearbeitet werden kann“, sagt Susanka. Das ist keine leichte Aufgabe – zumal die jungen Filmemacher dafür nur zweieinhalb Stunden Zeit haben.

Inzwischen ist es Mittag und im Seminarraum sind die Teilnehmer des dritten Trainingsmoduls „Prezi“ eingetroffen. Markus Gottschling hat sie am Vormittag mit der Präsentations-Software Prezi

vertraut gemacht. Die Schüler sollen erproben, wie sie genutzt werden kann, um die Themen „Wasserkreislauf“, „Was ist Schall?“ und „Fotosynthese“ zu veranschaulichen. Nun präsentieren die Schüler ihre Ergebnisse. Eine Gruppe berichtet, intensiv darüber diskutiert zu haben, wann ein Bild, eine Grafik oder doch besser ein Text dienlich sei. Eine zweite Gruppe gesteht zeitraubende technische Probleme. Markus Gottschling gibt Tipps zur Handhabung und zum didaktischen Einsatz der Software, beispielsweise „um von der Totalen ins Detail zu zoomen“.

Wie das aussehen kann, demonstrieren Lars (16), Erik (14), Jan-Eric (16) und Fabian (16) am Beispiel der „Fotosynthese“. Fabian ist bereits erfahren im Präsentieren. Er hat schon einmal am Jugendpräsentiert-Wettbewerb teilgenommen und die Präsentationsakademie besucht. Rasch haben sich die Jugendlichen den komplexen Sachverhalt erschlossen und Prezi als Werkzeug zur Veranschaulichung genutzt. Gekonnt lenken sie die Aufmerksamkeit ihrer Zuhörer, zoomen während der Präsentation von der Großaufnahme eines Baums über das Blatt bis hin zur Zelle und den Organellen in ihrem Inneren. Bild und Text ergänzen einander, Grafiken fassen wichtige Punkte prägnant zusammen. Für den Schluss haben sich die Vortragenden eindrucksvolle Zahlen aufgehoben, die das Auditorium staunen lassen: „Eine 100 Jahre alte Buche produziert an einem Sonntag 13 Kilogramm Sauerstoff und 13 Kilogramm Zucker.“ Eine reife Leistung. Zumal die Schüler

ihre Methodenwahl nachvollziehbar machen und erläutern, warum sie welches Bild, welchen Text, welchen Schrifttyp und welche Farbe gewählt haben, um die Aufmerksamkeit ihrer Zuhörer zu gewinnen. Auch Gottschling ist zufrieden: „Die Gruppe hat in knapp zwei Stunden eine nahezu perfekte Präsentation gebaut.“

Die rund 60 Schüler, die an der zweitägigen Akademie in der Villa Bosch teilnehmen, aus über 450 Bewerbern ausgewählt, die im Frühjahr Videos mit Präsentationen eingereicht hatten. Alle 60 dürfen – nunmehr bestens vorbereitet – zum Bundesfinale im September nach Hamburg reisen. Christian Kleinert, der das Projekt „Jugend präsentiert“ vonseiten der beteiligten Organisation „Wissenschaft im Dialog“ betreut, erläutert im Plenum, worauf es ankommen wird: Die Jugendlichen sollen sich selbstständig eine Fragestellung zum Thema „Luft“ ausdenken und dazu eine zehnmündige Präsentation erarbeiten. Professionell fragen die Schüler nach: Sind analoge Mittel wie Poster, Pinnwand oder Flipchart erlaubt? Dürfen digitale Mittel wie Softwareprogramme oder Videos genutzt werden? Wer ist die Zielgruppe der Präsentation?

Auftritt vor großem Publikum

Noch draußen vor der Tür sprechen die Jugendlichen über die „rhetorische Situationsanalyse“, diskutieren über die beste Argumentation, Sprache und Performanz. Offenbar haben sie während der Präsentationsakademie viel gelernt.

In Hamburg werden ihre Arbeiten dann von einer Expertenjury beurteilt. Deren Augenmerk liege weniger auf technischer Raffinesse, betont Kleinert, „sondern auf der Kreativität im Umgang mit den Themen, der sachlich korrekten Wiedergabe und der zielgruppengerechten Aufarbeitung“. Die Besten haben die Chance, am letzten Tag des Finales vor einem großen Publikum aufzutreten. Die sechs Gewinner werden mit einer Reise nach Berlin und einem umfangreichen Programm belohnt, das ihnen Einblicke in die Welt der Medien und der Wissenschaft gewährt. Sicher, es werde ein paar wenige Gewinner geben, meint Christian Kleinert: „Aber wir freuen uns auf alle 60 Teilnehmer – und auf all ihre Präsentationen.“ ●

Präsentieren ist eine Schlüsselqualifikation

Lena Kunkel (*1982) ist Gymnasiallehrerin für Deutsch und Biologie an der Ricarda-Huch-Schule in Sprendlingen bei Frankfurt. Als Multiplikatorin und Koordinatorin von „Jugend präsentiert“ für das Land Hessen trägt sie dazu bei, dass gutes Präsentieren im Schulalltag fest verankert wird.

Das Gespräch führte Claudia Eberhard-Metzger

Warum ist es wichtig, in der Schule Fertigkeiten für das Präsentieren zu lernen, Frau Kunkel?

Lena Kunkel: Präsentationen sind gleichsam ein roter Faden, der sich durch das gesamte Leben zieht. In der Schule sind es Referate, an der Universität Vorträge. Und auch das Vorstellungsgespräch bei einem Arbeitgeber ist eine Präsentation, ebenso die überzeugende Argumentation unter Kollegen. Das Präsentieren ist eine Schlüsselqualifikation, die es erlaubt, in verschiedenen Situationen kompetent mit Wissen umzugehen.

Und diese Schlüsselkompetenz lässt sich erlernen?

Ja, es gibt bestimmte Standards und Techniken. Wenn man diese beachtet, wird eine Präsentation, welcher Art auch immer, eindeutig besser und der Kommunikationserfolg sicherer.

Wo haben Sie das Präsentieren gelernt?

Bei mir waren die Methoden zum verständlichen Vermitteln von Wissen schon in der Schulzeit und während des Studiums und des Referendariats wichtig. In zwei Seminaren, die „Jugend präsentiert“ speziell für Lehrkräfte anbietet, konnte ich meinen Erfahrungsschatz noch einmal erweitern. Für manche Kollegen, die ich dabei kennengelernt habe, waren die Präsentationstechniken und deren Stellenwert für den Transfer von Wissen hingegen neu.

Was haben Ihnen die Lehrerseminare von „Jugend präsentiert“ konkret gebracht?

Es gab handlungsorientierte Übungen und anschauliche Materialien, die ein Team des Seminars für Allgemeine Rhetorik der Universität Tübingen erarbeitet hat. In seiner Kompaktheit ist das Angebot in Deutschland einzigartig. Die Inhalte des Konzepts sind zudem so aufbereitet, dass sie sich unmittelbar in den Schulalltag übertragen lassen.

Was sind Ihre Aufgaben als Multiplikatorin und Landeskoordinatorin von „Jugend präsentiert“?

Als Multiplikatorin biete ich schulintern Fortbildungen für das Kollegium an. Und künftig werde ich das Angebot als Koordinatorin für das Land Hessen in anderen Schulen verbreiten, sodass möglichst viele Schüler von der Initiative profitieren.

Wie kommt das Angebot bei den Jugendlichen an?

Meine Erfahrung ist immer die gleiche: Sie erkennen den Wert und sind begeistert.

Haben Sie einen Verbesserungsvorschlag?

Das Angebot richtet sich vor allem an Schüler der naturwissenschaftlichen Fächer. Es wäre schön, wenn es auch Material für geisteswissenschaftliche Fächer und deren Anforderungsprofil geben würde.

Ihre Erfahrung gibt Lena Kunkel gerne an andere Lehrer weiter. Wichtig ist ihr, dass sie die erlernten Methoden direkt im Unterricht umsetzen können.

Training für Multiplikatoren

Lehrkräfte aus dem MINT-Bereich, die an weiterführenden Schulen unterrichten, können sich für ein kostenfreies Lehrertraining bewerben: www.jugend-praesentiert.info

2015

KlarText!
KlarText!
KlarText!
KlarText!

Klaus Tschira Preis
für verständliche
Wissenschaft



Mit KlarText punkten!

Bewerben Sie sich

um KlarText!, den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft 2015.

Die Klaus Tschira Stiftung zeichnet jährlich Wissenschaftler aus, die die Ergebnisse ihrer herausragenden Dissertation in einem allgemein verständlichen Artikel beschreiben.

Bewerbungsbedingungen

- Promotion 2014 in Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik, Neurowissenschaften, Physik oder einem angrenzenden Fachgebiet
- Herausragende Forschungsergebnisse
- Ein allgemein verständlicher Textbeitrag über die eigene Forschungsarbeit
- Einsendeschluss: 28. Februar 2015

Mitmachen lohnt sich

- 5000 Euro Geldpreis pro Gewinner in jedem der sechs Fachgebiete
- Veröffentlichung der Siegerbeiträge in einer KlarText!-Sonderbeilage des Wissenschaftsmagazins *bild der wissenschaft*
- **Jeder Bewerber** kann am zweitägigen Workshop Wissenschaftskommunikation teilnehmen.

www.klaus-tschira-preis.info