

ETH GLOBE

Das Magazin der ETH Zürich, Nr. 4/November 2009

Computing der Zukunft

- Superrechner: Mehr Power mit weniger Energie
- Zukunftsmusik: Die ETH Zürich setzt auf Quanten
- Der Natur abgeguckt: Die Biocomputer von morgen

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

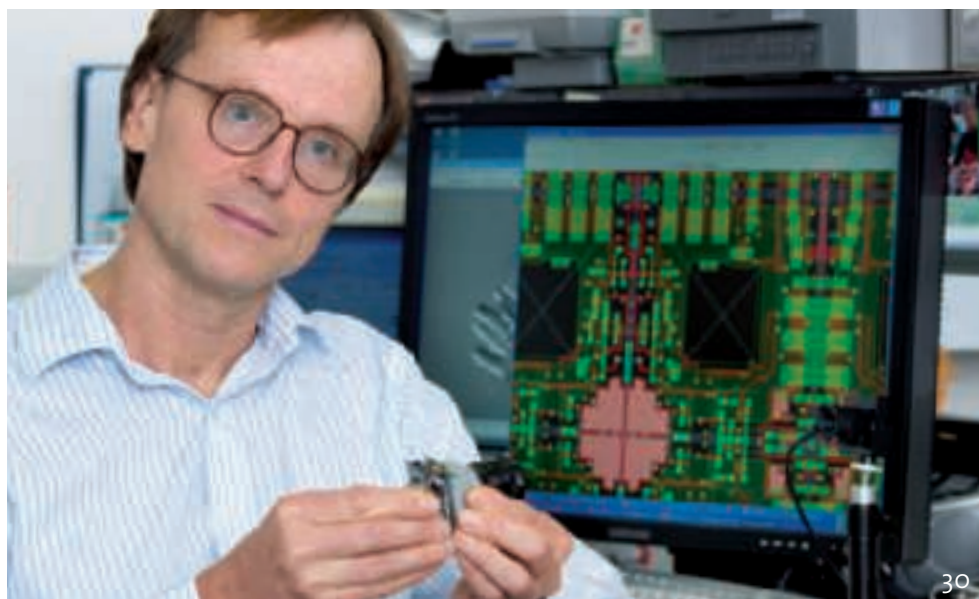


mission control™
security services

Are you tough enough to be a Mission Control Security Service Engineer?

Well-known companies, institutions and NGOs secure the availability of their crucial IT- and communications infrastructure with Mission Control Security Services. Our team is constantly looking for new technically trained employees who have a solid background in computer science, and experience in Internet technologies.

We offer you advanced-level internal development training, enabling you to become a certified Mission Control Security Service Engineer, working in a global, fast-paced and highly dynamic environment. Please contact us, so we can find out if you are tough enough to take a seat at our table. www.open.ch/jobs



Seite 30: Tobias Delbrück baut optische Sensoren nach dem Vorbild der menschlichen Netzhaut.



8



42

Seite 8: Der Superrechner «Monte Rosa» ist die Vorstufe der Zukunft.

Seite 42: Michael Hampe hat ein Buch über das Glück geschrieben.

Highlights

- 4 Obama ehrt ETH-Professor
- 5 Strom aus dem Auspuff

Dossier Computing der Zukunft

- 7 **Strategie**
ETH-Präsident Ralph Eichler möchte Hochleistungsrechner grüner machen und mit Quanten nach der Zukunft greifen.
- 8 **Nachhaltig zur Höchstform**
Künftige Superrechner sollen immer mehr leisten und dabei Energie sparen. Herausforderungen und Lösungen aus Expertensicht.
- 16 **Der Herr der Rechengiganten**
Thomas Schulthess, Leiter des Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrums CSCS, im Interview.
- 24 **Das Kalkül mit den Zwitterteilchen**
Mit vereinten Kräften ein Tor zur Zukunft öffnen: Wie sich ETH-Forscher dem Quantencomputer nähern.

- 30 **Das Gehirn auf einem Chip**
Evolution, Hirn und Schwarmverhalten: Forscher setzen auf die Natur als Vorbild für künftige Rechnergenerationen.

- 36 **Direkt**
Peter Waser, Microsoft Schweiz, und ETH-Astrophysikerin Marcella Carollo: Wie ein Unternehmer und eine Wissenschaftlerin über das Computing der Zukunft denken.

Projekte

- 40 **Die schädlichen Hinterlassenschaften der Gletscher**
- 41 **Der neue Klima-Blog der ETH**

Porträt

- 42 **Michael Hampe philosophiert über das Glück**

Partner

- 44 **ETH Foundation**
Abheben mit dem «Excellence Scholarship Programme»
- 46 **ETH Alumni**
Wiedersehen beim Homecoming Day 2009

Input

- 48 **Medien**
- 49 **Treffpunkt**
- 50 **Nachgefragt**
Der Geschmackswortschatz der deutschen Sprache

Obama ehrt ETH-Professor

Die Theorie, die zu seinem Lebenswerk werden sollte, entwickelte er in den späten 50er-Jahren, den Durchbruch erzielte er 1960, und nun wurde ihm die «National Medal of Science» verliehen: Rudolf Kalman. Im Oktober 2009, im Alter von 79 Jahren, ist der emeritierte ETH-Mathematikprofessor in den USA mit einer der höchsten Forschungsauszeichnungen geehrt worden. US-Präsident Barack Obama überreichte Rudolf Kalman die Medaille für sein Lebenswerk, den nach ihm benannten Kalman-Filter. Dieser Filter ist eine mathematische Technik, die das «Rauschen» aus Datenreihen entfernt. Erste grosse Anerkennung fand die Methode in den frühen 60er-Jahren in der Luftfahrt und in militärischen Anwendungen wie Leit-, Navigations- und Kontrollsystemen. Der Kalman-Filter, der unter anderem auch im Apollo-Programm eingesetzt wurde, hat die Kontrolltheorie revolutioniert und durchdringt bis heute unzählige technische Systeme. Die Zeremonie, an der neben dem emeritierten ETH-Professor noch acht weitere Wissenschaftler geehrt wurden, fand am

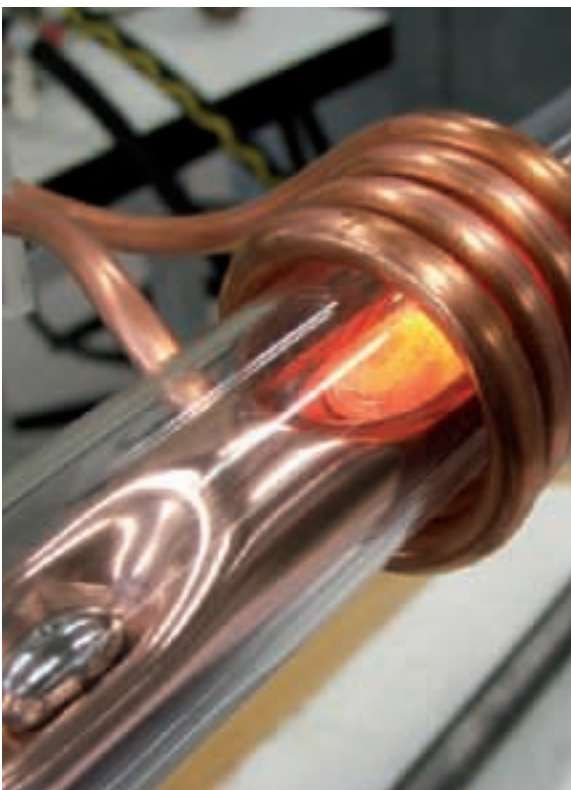


7. Oktober im Weissen Haus statt. Die National Medal of Science wird seit 1962 alljährlich vom US-Präsidenten an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für ihre «aussergewöhnlichen Beiträge zu Physik,

Biologie, Mathematik oder Ingenieurwissenschaften» vergeben. //

→ www.ethlife.ethz.ch/highlights/obama

Glas macht Knochen stark



Knochenbrüche werden häufig mit Schrauben und Metallplatten fixiert. Die Metallteile müssen, sobald die Knochen verheilt sind, mit einer weiteren Operation aus dem Körper entfernt werden. Materialforscher aus dem Labor von Jörg Löffler, Professor für Metallphysik und -technologie an der ETH Zürich, sind seit Längerem auf der Suche nach neuen Materialien, die Knochen nur so lange stabilisieren, bis sie verheilen, und sich im Lauf der Zeit im Körper auflösen. Vielversprechende Fortschritte hat das Team mit Implantaten aus Magnesiumlegierungen gemacht. Dieses Leichtmetall ist stabil und baut sich im Körper rasch und vollständig ab, hat aber den schwerwiegenden Nachteil, dass sich beim Abbau Wasserstoff bildet. Die entstehenden Gasblasen können das Knochenwachstum und damit die Heilung behindern und zudem zu Entzündungen führen. Das Team um Jörg Löffler hat nun diese unerwünschten Nebenwirkungen beseitigt. Es gelang den Forschern, eine neuartige Magnesium-Zink-Kalzium-Legierung als metallisches Glas herzustellen, welches körperversäglich ist und ein stark verändertes Abbauverhalten zeigt. Die Ergebnisse wurden kürzlich in «Nature Materials» publiziert. Zudem wurden die Legierungen und ihre Anwendungen als Implantatwerkstoff zum Patent angemeldet. //

→ www.ethlife.ethz.ch/highlights/knochen

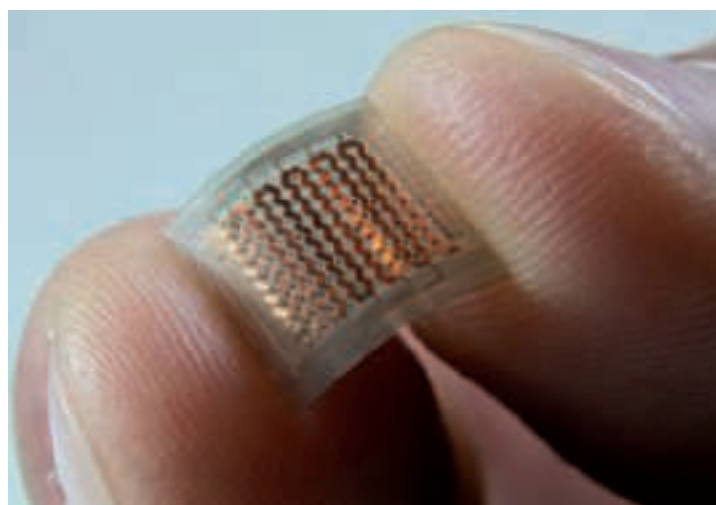
Strom aus dem Auspuff

Thermoelektrische Generatoren nutzen den Temperaturunterschied zwischen einer Wärmequelle und der Umgebungstemperatur zur Stromproduktion. In der Industrie wird mit solchen Generatoren die Abwärme bereits seit längerem in elektrischen Strom umgewandelt. Dem Forscher Wulf Glatz ist es im Rahmen seines Doktorats an der ETH Zürich gelungen, den Umwandlungsprozess auch für kleine Einheiten zu optimieren. Der 35-Jährige hat zusammen mit seinem Team in der Gruppe für Mikro- und Nanosysteme eine Methode entwickelt, mit der solche Kleingeneratoren kostengünstig fabriziert werden können. Dafür wurde ihm der «swisselectric research award 2009» verliehen. Der Preis zeichnet Forscherinnen und Forscher aus, die «die Forschung für eine ausreichende, sichere, preiswerte und umweltgerechte Stromversorgung voranbringen».

Mit den neuen Generatoren können auch Temperaturunterschiede von weniger als 10 Grad Celsius effizient genutzt werden. Sie besitzen keine beweglichen Teile, was sie ausgesprochen wartungsfreundlich macht. Ausserdem sind sie sehr dünn und flexibel, womit sie sich auch für den Einsatz auf gekrümmten Oberflächen eignen. Die thermoelektrischen Generatoren können zum Beispiel auf den Auspuff geklebt werden, wo sie die ausströmende Abwärme in Elektrizität konvertieren und damit andere Stromgeneratoren ersetzen

können, die bis zu zehn Prozent des Benzinverbrauchs verursachen. Die Vision von Glatz geht so weit, dass in Zukunft sogar Körperwärme in Strom umgewandelt werden kann. //

→ www.ethlife.ethz.ch/highlights/auspuff



Startklar für Olympia

Mit dem Ziel, den schnellsten Bobschlitten zu bauen, wurde vor rund drei Jahren unter dem Namen «Citius» eine Partnerschaft zwischen Industrie, Wissenschaft und Sport lanciert. Daran beteiligt waren über 20 ETH-Angehörige aus den Departementen für Maschinenbau- und Verfahrenstechnik, für Materialwissenschaften und aus der Zentralwerkstatt. Beim Bau des Bobs galt es innerhalb der strengen Richtlinien den Luftwiderstand und die Kufengleitfähigkeit zu optimieren. Seit April 2009 wird der Citius-Bob in Serie hergestellt.

Die Flotte besteht zurzeit aus sechs Zweierbobs und drei Viererbobs. Am 4. September, genau 160 Tage vor Beginn der Olympischen Winterspiele in Vancouver, wurde der Citius-Bob den Sportlern offiziell überreicht. Damit verfügen die Schweizer Athleten zum ersten Mal über einen verbandseigenen Bob. Besteht der Citius-Bob den Härtetest durch die Athleten, wird er nach Übersee verschifft, wo er hoffentlich für einige Podestplätze sorgt. //

→ www.ethlife.ethz.ch/highlights/citius

Mit großen Computern und effizienten Algorithmen stoßen wir an die Grenzen von Wissenschaft und Technik vor.
Petros Koumoutsakos,
Computational Science, ETH Zürich

Wenn wir einen Exascale-Computer bauen, ohne vorher den Energieverbrauch zu reduzieren, bräuhete dieser Strom für eine Milliarde Dollar pro Jahr.
Ronald Lütjten,
IBM-Forschungslabor Zürich, Rüschlikon

Wenn es uns gelingt, die Quanteneigenschaften von Teilchen gezielt zu nutzen, dann eröffnet sich uns ein komplett neues Feld.
Klaus Ensslin,
Experimentalphysik, ETH Zürich

The number of transistors and resistors on a chip doubles every 18 months.
Gordon Moore,
Mitbegründer von Intel

At the system level, brains are at least 1 million times more power efficient than computers. So why not use transistors in a way that is more brain-like?
Tobias Delbrück,
Neuroinformatik, ETH Zürich



Menschliches Hirn als Vorbild



Ralph Eichler, Präsident der ETH Zürich.

Schneller, kleiner, besser – an Computer aller Typen und Grössen werden ständig höhere Anforderungen gestellt. Bei dieser stürmischen Entwicklung stösst die Technologie zusehends an ihre Grenzen. Vorbei sind die Zeiten des vergangenen Jahrhunderts, als die Computerpioniere der ETH Zürich geruhsam Grundlagen für die Digitaltechnik schufen. Glanzstücke wie der Grossrechner ERMETH oder die Workstation Lilith sind verbunden mit namhaften Professoren. Dazu zählen unter vielen anderen Eduard Stiefel, Ambros Speiser und Niklaus Wirth, der mit seiner Programmiersprache Pascal den Namen ETH in die Welt hinaustrug. Heute verläuft die Forschung hektischer. Meist sind es grössere interdisziplinäre Teams, die die Computertechnologie vorantreiben. Dabei forschen auch Gruppen aus Hochschulen und IT-Firmen erfolgreich zusammen.

Public-Private Partnerships pflegt die ETH Zürich mit IBM, Disney, Microsoft, SAP und weiteren Unternehmen. Die Wissenschaft steht hier vor grossen Herausforderungen, um für Hardware und Software die zukunftstauglichsten Lösungen zu finden.

Grenzen der klassischen Physik

Das Gesetz von Moore verdeutlicht, dass sich die Anzahl Transistoren pro Mikroprozessor rund alle zwei Jahre verdoppelt. Dieses weitgehend ökonomische Diktat bringt die Chiptechnik bald ans Limit. Die fortschreitende Miniaturisierung führt jedoch nicht nur zu einschneidenden Platz- und Abwärmeproblemen, auch die klassische Physik beginnt zu streiken. Bei Transistoren von wenigen Nanometern Länge machen sich Quanteneffekte bemerkbar, die nicht den herkömmlichen Physikgesetzen gehorchen.

Doch die Nachfrage nach leistungsfähigeren Rechenanlagen ist kaum aufzuhalten. Computersimulationen werden in der Wissenschaft immer wichtiger. Stets durchdachtere Modelle in Klimaforschung, Nanotechnologie oder Biowissenschaften treiben den Elektrizitätsverbrauch von Supercomputern weiter in die Höhe. Die damit einhergehenden Stromrechnungen werden aber schlicht unbezahlbar.

Traditionsreiche Quantenmechanik an der ETH Zürich

Die Hochleistungsrechner-Technologie muss neue Wege gehen – in nächster Zukunft mit Low Power Computing. Dazu arbeitet die ETH zusammen mit IBM an einem Forschungsprojekt, dessen heisswassergekühlte Mikrochips die Abwärme nutzen. Als langfristige Vision gilt das Quantencomputing, seine Funktion beruht auf den Gesetzen der Quantenmechanik – notabene einer Disziplin, wo die ETH seit den Anfängen dabei ist. Zürich bietet sich denn auch als traditionsreicher Forschungsplatz für diesen vielversprechenden Wissenschaftszweig an.

Doch vielleicht sind die Neuroinformatiker schneller und schaffen einen Rechner analog zum menschlichen Hirn. Unser Denkorgan ist mit 20 Watt Leistung, wohlgermerkt ohne Ventilator, unschlagbar. Von diesem Wunderwerk können wir noch viel lernen. //



Der Blick in das Innenleben des derzeit grössten Superrechners der Schweiz, «Monte Rosa», lässt nur erahnen, wie viel Energie und Rechenleistung in einem solchen High-Performance-Computer steckt.

Giganten für die Zukunft trimmen

Immer schnellere Supercomputer sind aus der Wissenschaft nicht mehr wegzudenken. Doch Experten sind sich einig: Der Stromverbrauch muss gesenkt werden. Denn sonst ist der Energiebedarf der Rechengiganten in Zukunft weder bezahlbar, noch zu verantworten.

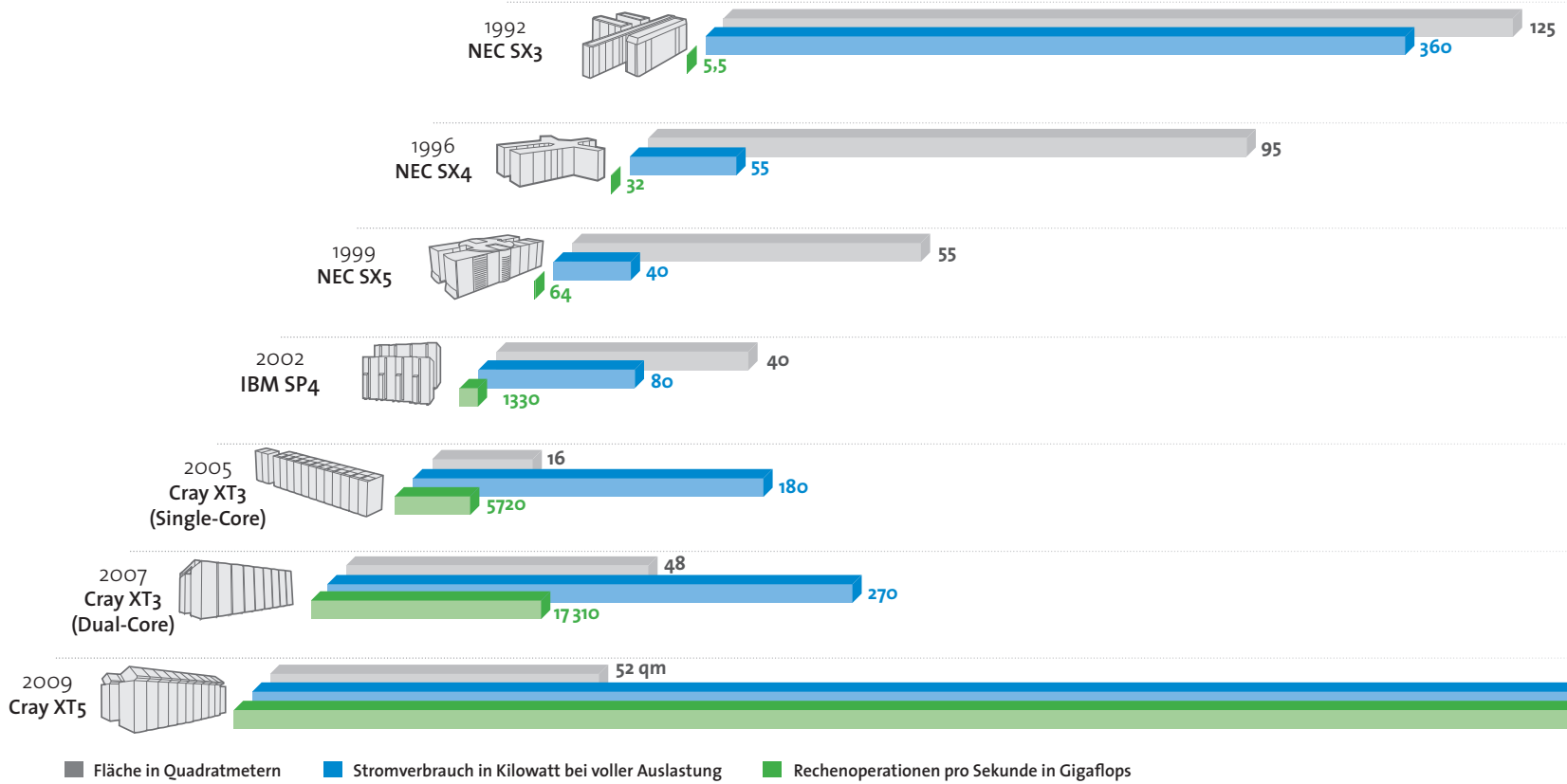
Text: Simone Ulmer

Als Eduard Stiefel Mitte des vergangenen Jahrhunderts die berühmte Rechenmaschine Z4 an die ETH Zürich holte, hat er wohl nicht zu träumen gewagt, dass aus Rechenmaschinen in Zukunft Hochleistungsrechner werden, welche die zwei Säulen der Wissenschaft, Theorie und Experiment, um eine dritte ergänzen: die Simulation. Sie hat sich innerhalb weniger Jahrzehnte als wissenschaftliche Technik etabliert. Der ehemalige ETH-Professor Stiefel hat dazu beigetragen, denn er war ein Pionier in der Nutzung und Entwicklung von Rechenmaschinen. Bereits 1950 holte er die Z4 von Conrad Zuse, der den ersten universellen Computer der Welt baute, nach Zürich. Mit ihr wurden an der ETH Zürich technische und wissenschaftliche Rechenprobleme gelöst – wie etwa die statische Berechnung der Grande-Dixence-Staumauer im Wallis. Was damals ein 1000 Kilogramm schwerer Rechner mit rund 2500 Relais durchführte, kann heute ein iPhone. Die damaligen «Superrechner» haben sich durch immense Technologie-Fortschritte zu Giganten

bezüglich ihrer Rechnerleistung entwickelt. Heute helfen sie dabei, komplexe Probleme in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, bei den Finanzanalysten, bei Katastrophenvorhersagen und beim Militär zu lösen. Doch die rasante Computerevolution hat ihren Preis: Die Superrechner verbrauchen zu viel Strom.

Der «Computnik» im High Performance Computing

Als die Japaner im Jahr 2002 mit dem «Earth Simulator» den schnellsten Rechner der Welt vorstellten, sprach man in Anlehnung an den sowjetischen Sputnik der fünfziger Jahre von einem «Computnik». Denn Japan hatte es geschafft, mit dem Computerhersteller NEC einen zivil genutzten Rechner zu bauen, der alle Rechenkapazitäten und Rechenleistungen bisheriger Rechner weit hinter sich liess. Das Ziel war damals, vor allem Naturkatastrophen wie etwa Erdbeben zu simulieren, von denen das im Spannungsfeld von vier tektonischen >



Während die Rechenleistung der Supercomputer im Laufe der Jahre immer weiter zunimmt, geht der Stromverbrauch zunächst zurück. Inzwischen ist er jedoch wieder stark angestiegen. Ihn zu senken gilt als eine der grössten Herausforderungen der Computerbauer von morgen.

Platten liegende Land immer wieder heimge-sucht wird. Gebannt blickten deshalb die Teil-nnehmer der Supercomputerkonferenz in Hei-delberg im Juni 2003 auf die von Tetsuya Sato, dem Direktor des «Earth Simulator Center», prä-sentierete Computeranimation. Diese zeigte, wie sich ein Erdbeben der Stärke 8,1 in einer bestimmten Region Japans ausbreiten würde. Solche Bilder in dieser Auflösung hatte man zuvor noch nie gesehen. Doch hinter «Com-putnik» stand ein Stromverbrauch von rund 12 Megawatt – tausendfach höher als das, was die Z4 mit 4 Kilowatt über fünfzig Jahre zuvor verbrauchte. Die Effizienz der heutigen Rech-ner ist nahezu eine Billion mal höher als die der Z4. Hierfür werden jedoch eine Billiarde mal mehr Operationen benötigt und damit 3000 mal mehr Energie.

Was damals noch kein Thema von Interesse war, zählt heute zu den grössten Herausfor-derungen des High Performance Computing (HPC) der Zukunft. Neben Geschwindigkeit und Leistung ist die Energieeffizienz auf der Prioritätenliste der Computerbauer und -nut-zer ganz nach oben gerückt.

Der Stromverbrauch heutiger Rechner liegt dank neuester Technologien zwar deutlich un-ter dem Spitzen-Stromverbrauch des «Earth Simulator», trotzdem ist er in Zeiten eines ge-

steigerten Umweltbewusstseins zu hoch. Der-zeit habe der weltweit schnellste Computer, «Roadrunner», einen Stromverbrauch von 2,5 Megawatt Leistung, sagt Ronald Luijten, Leiter des Server-Technologieteams am IBM-For-schungslabor Rüschlikon – und damit sei er absolut «grün». Er ist deshalb auf der 2007 erstmals publizierten Green500 List – einer al-ternativen Listung zur Top500 List der schnell-ten Rechner – auf Platz vier. Die Green500 List rangiert weltweit die Superrechner nach ihrer Energieeffizienz. Betrachtet man die zehn schnellsten Rechner der Welt in Bezug auf ihren Stromverbrauch pro Megaflop, steht «Roadrun-ner» sogar mit Abstand an der Spitze, so Luijten. Dennoch belaufen sich die jährlichen Stromkos-ten auf mehr als 2 Millionen Dollar.

Untersuchungen des weltweiten Energiever-bruchs durch IT zeigen, dass der Stromver-bruch immer dann anstieg, wenn eine Rech-ner-technologie ausgereizt war. Das scheint auch bei den derzeitigen Technologien der Fall zu sein: Die Spannung und Frequenz der Chips, der so genannten CPUs (central processing units), und somit die Taktfrequenz ist nicht mehr zu steigern, da sonst die CPUs bei der momentanen Kühlleistung zu heiss würden. Eine neue Halbleiter-Technologie, welche die derzeitigen Chips ablösen könnte, ist jedoch

700 kWatt

212 428 Gigaflops

noch nicht in Sicht. Das bedeutet, die Rechner können derzeit nicht über effizientere Chips schneller werden, sondern nur, indem man immer mehr CPUs in einem Supercomputer parallel schaltet: Zehntausende bis Hunderttausende von Standard-Prozessoren bilden einen Hochleistungsrechner. Für eine Anwendung führt der Rechner die Rechenoperationen auf den Prozessoren gleichzeitig und parallel durch. Damit dabei am Ende ein sinnvolles Ergebnis erzielt wird, muss der Rechner über ein spezielles, besonders leistungsfähiges Kommunikationsnetzwerk verfügen.

Bei der derzeitigen Architektur der Rechner steigt der Stromverbrauch durch die zunehmende Anzahl der CPUs und vor allem durch den Kühlungsbedarf: Von einem Megawatt Stromverbrauch des Rechners gehen 0,7 Megawatt in die Kühlung. Die Kühlung ist essenziell, denn bei 85 Grad werden die CPUs zerstört, und eine Regel besagt, dass sich bei jeweils zehn Grad Temperaturanstieg die Fehleranfälligkeit der Rechner verdoppelt.

Kühlen mit heissem Wasser

Trotzdem spielt Dimos Poulikakos, Professor an der ETH Zürich und Direktor des Labors Thermodynamik für neu aufkommende Technologien, mit Möglichkeiten, die maximal ver-

trägliche Wärme für die CPUs auszureizen. Der Forscher betont, dass dies in einem holistischen Ansatz untersucht wird, der sowohl Hardware wie Software miteinbezieht. In Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe «Advanced Thermal Packaging» von Bruno Michel bei IBM Research in Rüschlikon und dem Department Informatik der ETH Zürich lancierte

«Wenn die Entwicklung der Supercomputer so weiterginge wie bisher, müsste man zum Betreiben eines Supercomputers bald einmal eine Milliarde Dollar pro Jahr allein für den Energiebedarf des Rechenmonsters ausgeben.» Ronald P. Luijten, IBM

er das Projekt «Aquasar», den Bau eines «grünen» Supercomputers. Bei «Aquasar» wird die Energie quasi doppelt genutzt, einerseits für die Rechnerleistung und andererseits für das Heizen von Gebäuden. Dabei wird auch die benötigte Kühlungsenergie durch die nahezu ausgereizte Wärmeverträglichkeit der CPUs praktisch eingespart. Denn der Rechner wird mit etwa sechzig Grad heissem Wasser gekühlt, das über ein Mikrokapillarsystem direkt an die Chips herangebracht wird. Mikrowärmetauscher geben die Wärme des Chips ans Wasser ab. Speist man die Abwärme, die sonst

verloren ginge, beispielsweise in ein Fernwärmenetz ein, könnten Gebäude beheizt werden. Wenn das Wasser sich dort wieder auf seine Ausgangstemperatur von 60 Grad abgekühlt hat, wird es zurück zum Rechenzentrum geleitet und erneut zur Kühlung genutzt. Es handelt sich also um ein komplett geschlossenes System. Poulikakos ist überzeugt, dass der erste

Prototyp innerhalb der nächsten drei bis fünf Jahre in Produktion geht. Derweil entwickelt sein Team bereits eine neue Generation der Kühlung, bei der die Chips vollkommen ins Wasser getaucht werden sollen. Poulikakos' Vision ist, dass aus der Abwärme dereinst direkt elektrische Energie gewonnen werden kann. Das Projekt «Aquasar» ist ein erster Ansatz, um das Energieproblem von Supercomputern in den Griff zu bekommen. Und die Zeit drängt: etwa alle zehn Jahre werden die Supercomputer 1000 Mal leistungsfähiger. 2008 führte der IBM-Rechner «Roadrunner» mit seinen >



nahezu 20 000 Prozessoren als erster Rechner eine Billiarde Rechenschritte pro Sekunde durch und nahm damit die so genannte «Petaflop-Hürde». Damals soll ein IBM-Mitarbeiter gesagt haben, dass die Tagesleistung von «Roadrunner» dem entspreche, wofür die gesamte Weltbevölkerung, ausgerüstet mit jeweils einem Taschenrechner, 46 Jahre bräuchte, vorausgesetzt, jeder Erdenbürger würde täglich 24 Stunden und sieben Tage die Woche rechnen.

2018 sollen Rechner in der Lage sein, eine Trilliarde Rechenoperationen pro Sekunde zu bewältigen. «Wenn wir einen derartigen Exascale-Computer bauen, ohne vorher den Stromverbrauch zu reduzieren, bräuchte dieser Computer Strom für eine Milliarde US-Dollar pro Jahr», sagt Luijten. «Die Regierungen würden uns dann allenfalls erlauben, den Rechner zehn Minuten pro Woche laufen zu lassen, und wir müssten unsere Rechenzentren direkt neben einem Kernkraftwerk bauen.» Auch Thomas Lippert, Direktor des Jülich Supercomputing

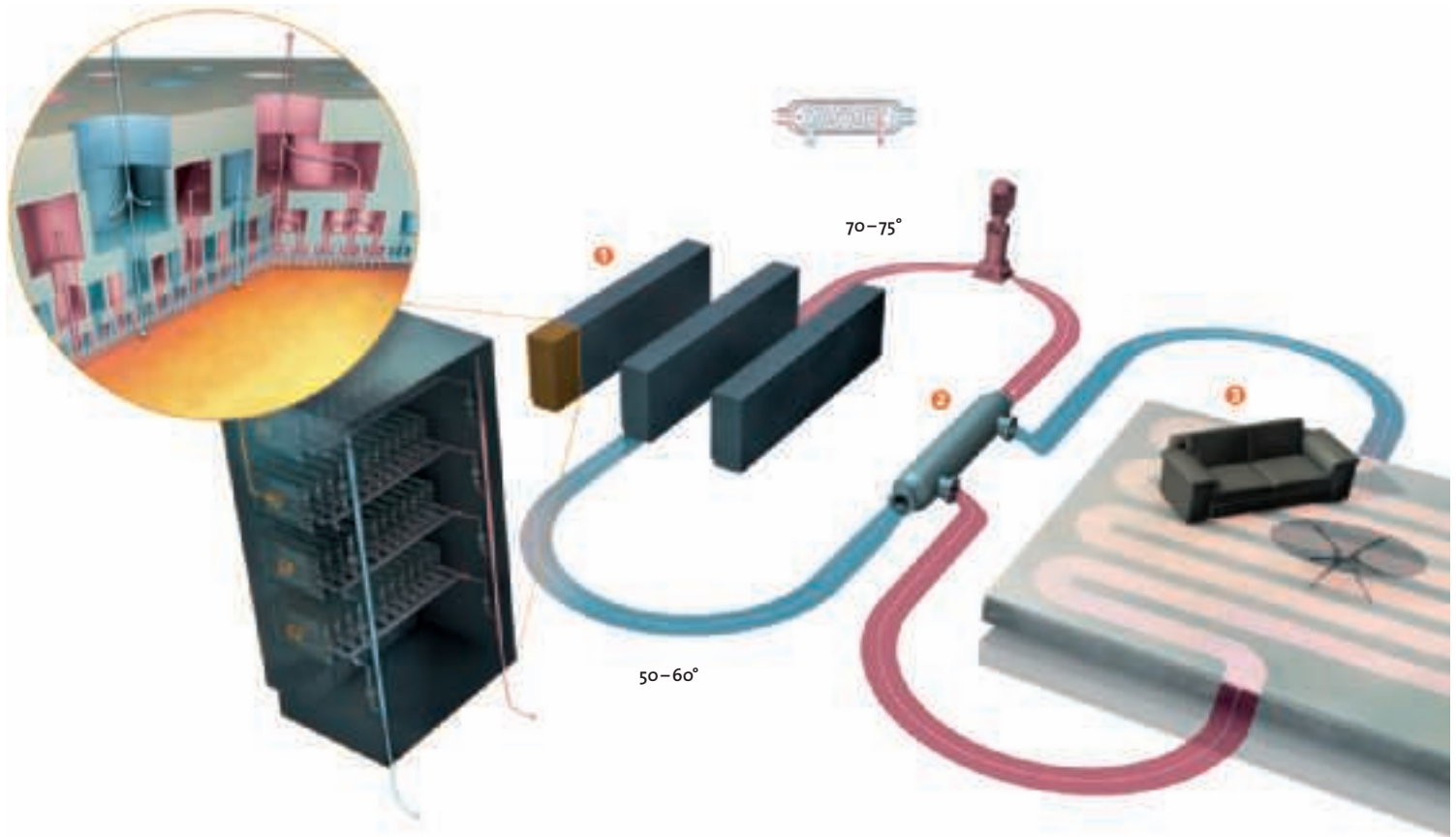
Centre, das den schnellsten Rechner Europas besitzt, sieht für eine solche Entwicklung keine Zukunft: «Eine klare Grenze im HPC ist, wenn wir den Energieverbrauch nicht mehr verantworten und bezahlen können.» Von diesem Problem sind alle derzeit vorhandenen Arten von Hochleistungsrechnern betroffen.

Schweiz setzt auf Hochleistungsrechnen

Hochleistungsrechner kommen heute in zwei Klassen vor: entweder in Form von Clustern, zusammengesetzt aus Industrie-Standard-Bauteilen, oder als Supercomputer, bei dem gewisse Bauteile, die entscheidend für die Gesamtleistung des Systems sind, speziell entwickelt werden. Ein wichtiger Baustein ist bei den Supercomputern das Kommunikationsnetzwerk zwischen den parallelen Rechenelementen.

An der ETH Zürich steht den Wissenschaftlern der so genannte Brutus-Cluster zur Verfügung. Er ist in der Lage, 75 Billionen Rechenoperationen in der Sekunde durchzuführen.

Dimos Poulidakos, Professor und Direktor des Labors für Thermodynamik an der ETH Zürich, möchte mit dem Projekt Aquasar Rechengiganten umweltfreundlicher machen. Die bei der Kühlung entstehende Abwärme soll als Energielieferant für Gebäude genutzt werden.



Die Vision vom Null-Emissions-Datenzentrum im Projekt Aquasar: Die Rechner werden mit 50 bis 60 Grad warmem Wasser gekühlt. Dafür werden bio-inspirierte Mikro-Wärmetauscher eingesetzt (1). Das durch die Abwärme auf 70 bis 75 Grad erhitzte Wasser wird in ein Fernheizungssystem eingespeist (2) und beispielsweise zum Heizen von Häusern genutzt (3). Das System schliesst sich, indem das abgekühlte Heizwasser wiederum dem Rechenzentrum als Kühlwasser zugeführt wird.

Für noch rechnungsintensivere Bedürfnisse der Schweizer Wissenschaftler ist kürzlich der Hochleistungsrechner «Monte Rosa» am Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrum CSCS (Centro Svizzero di Calcolo Scientifico) in Manno eingeweiht worden. Fast 15 000 Prozessoren ermöglichen 141 Billionen Rechenoperationen in der Sekunde und bilden den Auftakt der nationalen Strategie im High Performance Computing der Schweiz. Die Strategie ist ein klares Signal der Politik, die Erkenntnisse aus Computersimulationen als drittes Standbein der Wissenschaft – in einem Land mit der besten Hochschule im nicht englischen Sprachraum Europas – zu festigen und zu fördern.

Grosse Herausforderungen

Damit wird die Tradition Eduard Stiefels fortgesetzt, in der die Schweiz pro Kopf am meisten Geld für Computer ausgibt – mehr investieren nur noch die USA.

Jedoch sind die Supercomputer schnell «veraltet» und müssen alle zwei bis vier Jahre ersetzt oder aufgestockt werden – zumindest wenn man unter den «Top 500» der schnellsten Rechner der Welt vorne mitspielen möchte. Das CSCS hat es im vergangenen Juni auf Platz 23 geschafft, doch die Rangierungen sind kurzlebig und ändern sich halbjährlich. Für das CSCS-Team hat nicht der Besitz des schnellsten Rechners Priorität, sondern die Idee, die Bedürfnisse ihrer Nutzer zu erfüllen und diesen das Mithalten in der Spitzenforschung zu sichern. Derzeit wird am CSCS deshalb schon wieder nachgerüstet: Den Benutzern stehen in Zukunft 22 128 Prozessoren für ihre Berechnungen zur Verfügung. Statt 141 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde kann der Cray-Rechner «Monte Rosa» 212 Billionen durchführen. Mit steigender Leistung der Rechner steigen aber nicht nur die Stromkosten, sondern auch die Herausforderungen an die Hard- und Soft-

Das Projekt Aquasar

Der Bau von Aquasar ist Teil des dreijährigen gemeinschaftlichen Forschungsprogramms «Direkte Abwärmenutzung von flüssiggekühlten Supercomputern: Der Weg zu energiesparenden emissionsfreien Hochleistungsrechnern und Rechenzentren». An diesem Projekt sind das IBM-Forschungslabor Rüschlikon, die ETH Zürich, die ETH Lausanne und das Schweizer Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität (CCEM) beteiligt.

ware. Bis zum Exaflop-Rechner gibt es noch vielseitigen Entwicklungsbedarf, darüber sind sich die Fachleute einig. Heute wird im HPC die Methode des massiv-parallelen Rechnens verwendet und kontinuierlich gesteigert. «Dies wird auch weiterhin so bleiben, und das massiv-parallele Rechnen wird noch zunehmen, ein Paradigmenwechsel ist nicht in >



Mit Supercomputern wie dem kürzlich am CSCS in Manno eingeweihten Rechner «Monte Rosa» ist die Schweiz in der Liga der Rechengiganten weltweit ganz vorne dabei.

Sicht», ist Lippert überzeugt. Auch Alessandro Curioni, Leiter der Gruppe Computational Science am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon, sieht keinen Grund, warum man von der gut etablierten Methode des massiv-parallelen Rechnens wegkommen sollte – für Curioni ist das Verfahren geradezu ein «must», aber: «Wenn durch das massiv-parallele Rechnen die Anzahl der Computereinheiten in den kommenden Jahren explodiert, bekommen wir Probleme mit den Applikationen, den Anwendungsprogrammen der Supercomputer». Denn Applikationen, die auf heutigen Rechnern gut funktionieren, können für zukünftige, noch stärker massiv-parallel arbeitende Systeme, die tausendmal mehr Prozessoren als heute besitzen, absolut ungeeignet sein. Durch die steigende Prozessoren-Anzahl steigt die Anzahl der Rechenoperationen, die wiederum miteinander kommunizieren müssen. Dies erhöht bei der derzeitigen Technologie die Ausfallwahrscheinlichkeit einzelner

Knotenpunkte, an denen die Rechenoperationen auf dem Chip durchgeführt werden, aber auch die Kommunikationszeit zwischen den Prozessoren. Luijten bringt das Problem wie folgt auf den Punkt: Eine Frau könne in neun Monaten ein Baby zur Welt bringen, neun Frauen könnten deshalb noch lang nicht ein Baby in einem Monat gebären. «Wir stehen bei den Applikationen davor, das Problem zu lösen, wie eine Million Frauen in einer Sekunde ein Baby zur Welt bringen können.»

Datenanalyse in Echtzeit

Curioni sagt: «Wenn wir die Möglichkeiten der zukünftigen Rechner voll ausnutzen möchten, müssen wir die Algorithmen und Methoden vollständig überdenken.» Die Experten betonen, dass dazu ein holistischer und interdisziplinärer Ansatz erforderlich ist. Es gilt die Hardware und Software zu verbessern; beispielsweise in Bezug auf Skalierbarkeit und Toleranz. Es braucht beispielsweise eine Software, die die

Ausfälle der kommunizierenden Knotenpunkte senkt oder einfach «überspielen» kann, damit die laufenden Anwendungen nicht zusammenbrechen. Eine weitere Herausforderung sind auch die generierten Datenmengen, deren Speicherung heutzutage nahezu unmöglich ist. Denn jede «Multiscale»-Simulation, in der unterschiedliche Zeitdimensionen, Prozesse, die in Sekunden oder gar Jahrtausenden ablaufen, zu berücksichtigen sind, produziert Hunderte von Terabytes an Daten. Diese müssen in Echtzeit analysiert werden. Die richtigen Daten daraus zu extrahieren und die unwichtigen zu verwerfen, sehen Curioni und Luijten als eine besondere Herausforderung. Schon heute ist es unmöglich, alle Daten zu speichern, statt dessen wird versucht, die für die Untersuchung signifikanten Ergebnisse herauszufiltern und abzuspeichern. Ein wichtiger Aspekt für die Experten ist zudem, dass die Benutzer in Zukunft die Maschinen, auf denen sie rechnen, verstehen lernen.



Das CSCS und die schnellsten Rechner der Welt

Das Centro Svizzero di Calcolo Scientifico (CSCS) in Manno/Tessin ist das Schweizerische Zentrum für Hochleistungsrechnen. Das CSCS ist eine autonome Einrichtung der ETH Zürich. Es wurde 1991 gegründet und beschäftigt heute rund 40 Personen, darunter 15 Wissenschaftler. Das CSCS arbeitet mit den beiden ETH, den Schweizer Universitäten, den Forschungsinstitutionen des ETH-Bereichs, dem CERN, MeteoSwiss und weiteren nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen zusammen.

Der schnellste Rechner der Schweiz ist der mit Mitteln des zweiten Konjunkturstabilisierungspakets des Bundesrats und Mitteln der ETH Zürich 2009 am CSCS in Manno errichtete «Monte Rosa» mit 141 Teraflops. Damit erreicht der Spitzenrechner am CSCS den 23. Rang weltweit und Platz 4 in Europa.

Das aktuell schnellste Rechner-System überhaupt ist gemäss der Liste der 500 weltweit schnellsten Computer vom 19. Juni 2009 der militärisch genutzte «Roadrunner» am Los Alamos National Laboratory des US-amerikanischen Energiedepartements mit einer Spitzenleistung von 1,105 Petaflops (Flops: Rechenschritte pro Sekunde).

→ www.cscs.ch

→ www.top500.org/

→ www.green500.org/

Ausserdem müssen die Architekten der Superrechner diese an die Bedürfnisse der Benutzer anpassen. Lippert betont, dass es grosse Unterschiede gebe. Seien die Physiker von jeher gewohnt, ihre Algorithmen und Codes zu programmieren und an eine Maschine anzupassen, gebe es beispielsweise bei den Ingenieuren einen hohen Nachholbedarf.

Curioni ist überzeugt, dass nur durch stärker optimierte Rechner Probleme wirklich gelöst werden können. Denn der Wunschtraum der Wissenschaftler, den Klimawandel, zu erwartende Erdbeben oder Fragestellungen in den Materialwissenschaften real zu simulieren, erfordert, dass sie vom makroskopischen Beobachten tief in die dahinterstehende Physik eintauchen. Dazu ist ein multi-physikalischer Rahmen für Simulationen notwendig, der, so Curioni, eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Spezialisten aus verschiedenen Fachbereichen, vom Anwender über den Computerwissenschaftler bis hin zum Computer-

bauer, voraussetze. «Die Tage, an den wir einen neuen Computer gebaut haben mit der Erwartung, dass die Wissenschaftler damit fantastische Dinge machen – ohne zu wissen, was die HPC-Gemeinschaft wirklich braucht –, sind vorbei», ergänzt Lijten.

HPC ist die wichtigste Schlüsseltechnologie

Wie der Supercomputer der nächsten Generation aussehen wird, darüber können die Forscher nur spekulieren. Lippert ist sich aber sicher: «HPC ist die wichtigste Schlüsseltechnologie der Zukunft.» Sie ermöglicht den Forschern etwa, wichtige Funktionsweisen von Biomolekülen oder Zellen zu simulieren, wie das im Experiment nicht möglich wäre. Am Computer können Erdbebenforscher Spannungen in der Erdkruste simulieren und daraus Rückschlüsse auf bevorstehende Erdbeben ziehen. Nur durch die berechneten Klimamodelle können Forscher Prognosen über die Entwicklung unseres Klimas treffen.

Trotz der stetigen Weiterentwicklung bleiben somit für die Zukunft des HPC viele Fragen offen. In einem sind sich jedoch alle drei HPC-Experten einig: Irgendwann einmal könnte es eine ganz neue Form von Computern geben, den Quantencomputer. Die ETH Zürich forscht intensiv an der Erschliessung dieses Zukunftsgebiets (vgl. Beitrag S. 24). Doch damit wäre das Zeitalter des HPC nicht beendet. IBM-Experte Lijten betont, dass der Quantencomputer – genauso wenig, wie das Auto durch das Flugzeug ersetzt wurde – bestimmt nicht den klassischen Hochleistungsrechner ersetzen wird. «Wenn er jemals ökonomisch sinnvoll arbeiten kann, dann wird er eine andere Dimension liefern, die wir zusätzlich nutzen können.» //



Thomas Schulthess, Direktor des Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrums CSCS, hat eine besondere Beziehung zum Luganer See. Sein Wasser soll den geplanten Petaflop-Rechner kühlen, der die Spitzenposition der Schweiz im Hochleistungsrechnen sichern wird.

Der Herr der Rechner

Thomas Schulthess, Leiter des Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrums CSCS in Manno. Im Interview erklärt er, warum es neue Supercomputer braucht, welche Vorteile die Schweizer Wirtschaft davon hat und warum es um mehr geht, als den schnellsten Rechner zu haben.

Interview: Thomas Langholz

Herr Schulthess, warum sollen gerade in Krisenzeiten 172 Millionen Franken in Hochleistungsrechner investiert werden?

Die Gesamtsumme wird über mehrere Jahre investiert. Gemessen an dem, was die Initiative der Wissenschaft und der Wirtschaft nützen wird, sind die insgesamt 172 Millionen Franken wenig für unsere Volkswirtschaft. In Zusammenhang mit der Wirtschaftskrise muss man bedenken, dass wir im Moment Milliarden für Altlasten ausgeben. Dagegen ist das Geld für die HPCN-Strategie (High Performance Computing and Networking) des Bundes eine Investition in die Zukunft.

Welche Ziele verfolgt die Schweiz mit der neuen HPCN-Strategie?

Wir wollen in der Schweiz eine Supercomputer-Infrastruktur für simulationsgestützte Wissenschaften aufbauen, die unseren Forschern die beste Ausgangslage im Rennen um die besten wissenschaftlichen Erkenntnisse ermöglicht. Dazu benötigen sie Supercomputer in der Schweiz und im Ausland. Ein weiteres Ziel ist es, Wissenschaftler dazu zu befähigen, dass sie mit diesen Maschinen umgehen können. Nur so erhalten wir den Zugang zu den

weltgrössten Rechnern, die heute hauptsächlich in den USA stehen. Darüber hinaus müssen wir auch attraktive Forschungsgebiete bearbeiten.

Wofür werden Supercomputer überhaupt eingesetzt?

Bei den Ingenieur- und Naturwissenschaften sind Simulationen heute ein elementarer Bestandteil der wissenschaftlichen Arbeit. Angewandt werden sie zum Beispiel bei der Klimaforschung, bei Molekularberechnungen, in der Medizinaltechnik oder Fluidodynamik. (siehe hierzu Beispiele Seite 20 bis 23, Anmerkung der Redaktion).

Das heisst, die Grossrechner verbessern die Forschung?

Ein Rechner allein reicht nicht, man benötigt dazu auch kluge Köpfe. Aber gute Wissenschaftler benötigen die besten Werkzeuge und die beste Infrastruktur. So wie man in der Astronomie die besten Teleskope braucht, so benötigt man bei der Simulation starke Rechner. Wenn man beides hat, dann haben die Wissenschaftler einen immensen Vorteil gegenüber anderen. >

Welche Rechenleistung haben die heutigen Systeme?

Ein typischer Laptop mit einem Intel Core 2 Processor und einer Taktfrequenz von zwei Gigahertz kann etwa acht Gigaflop pro Sekunde erreichen. Ein Gigaflop sind eine Milliarde Rechenschritte pro Sekunde. Unser aktueller Rechner am CSCS ist zehn Mal kleiner als der schnellste Rechner der Welt und etwa 25 000 Mal leistungsfähiger als ein Laptop.

Warum bauen Sie den bestehenden Rechner in Manno nicht aus?

Dies haben wir bereits zwei Mal dieses Jahr gemacht. Ein weiterer Ausbau ist aus Infrastrukturgründen nicht möglich. Bei unserer aktuellen Maschine musste der Upgrade des Arbeitsspeichers sogar kleiner ausfallen als ursprünglich geplant, da wir den Stromverbrauch und die Kühlung auf Grund der Infrastruktur des Gebäudes nicht sicherstellen konnten.

Die Rechnerleistungen werden immer höher. Ist es notwendig, dass man bei diesem Wettrüsten mitzieht?

Es ist eher eine technologische Entwicklung. Die Rechnerleistung der schnellsten Supercomputer hat in den letzten Jahrzehnten alle zehn Jahre um den Faktor 1000 zugenommen. Trotzdem können wir für viele Simulationen heute noch nicht in der richtigen Grössenordnung arbeiten, um zum Beispiel die Folgen des Klimawandels besser zu verstehen oder sogar vorherzusehen. Zum Teil fehlen uns die Methoden. Daran arbeiten heute schon die fähigsten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in der Schweiz, aber wir brauchen auch mehr Rechenleistung.

Könnte man diese Rechnerleistung nicht günstiger von ausserhalb einkaufen?

Es geht darum, den Wissenschaftlern eine optimale Infrastruktur zur Verfügung zu stellen.

Über diese sollten wir in der Schweiz selbst entscheiden können und nicht Europa oder die USA. Die Argumente sind dieselben wie bei der Synchrotronquelle SLS am Paul-Scherrer-Institut. Wir haben weltweit einen Beitrag zur Wissenschaft geleistet und gleichzeitig das nötige Know-how aufgebaut.

Mit der Rechenleistung steigt aber auch der Energieverbrauch.

Wenn wir die Entwicklung der Rechenleistung der letzten 20 Jahre weiterdenken, werden Supercomputer bis 2018 eine Rechenleistung von 1000 Petaflop pro Sekunde haben. Dabei werden sich aber die Rechnerarchitekturen stark verändern, denn mit der heutigen Technologie wären diese Rechner 1000 Mal schwieriger zu bedienen und würden etwa 100 Megawatt Strom verbrauchen. Niemand glaubt daran, dass das zu finanzieren ist.

Welchen Einfluss hat dies auf die Rechnerentwicklung?

Das ist eine Motivation für innovative Computerbauer. Die gesamte Rechnerarchitektur, selbst die der PCs, wird sich bis in zehn Jahren stark verändert haben. Daher ist jetzt der richtige Zeitpunkt für die Schweiz einzusteigen, um bei der Technologieentwicklung wieder aktiv mitzumachen, wenn wir weiterhin eine führende Rolle einnehmen wollen. Die grossen Computerfirmen wie IBM oder Intel sind sich bewusst, dass die bestehende Technologie ausläuft. Dadurch haben neue Firmen die Gelegenheit, in diesen Markt einzusteigen, und können die Entwicklung vorantreiben. Bei der Entwicklung von neuen Technologien sollte auch die ETH dabei sein, wie in den 1970er Jahren, als sie in der Systemforschung zum Beispiel mit der Gruppe um Niklaus Wirth wesentliche Beiträge geleistet hat.

Welche Rolle wird das CSCS dabei spielen?

Das CSCS wird die Technologieentwicklung

Mehr als eine Rechenmaschine: Der zukünftige Petaflop-Rechner braucht ein neues Gebäude, dessen Infrastruktur optimal auf die Bedürfnisse dieser und kommender Rechnergenerationen zugeschnitten ist.

mit vorantreiben und als nationales Zentrum für Hochleistungsrechnen Dienstleistungen für die Wissenschaft, die Wirtschaft und die Gesellschaft erbringen. Wir bieten diese Infrastruktur den Schweizer Hochschulen, Fachhochschulen und Institutionen, wie zum Beispiel der MeteoSwiss, an.

Inwieweit sind die Wissenschaftler daran beteiligt?

Dafür steht das N in der HPCN-Strategie; das Netzwerk von Wissenschaftlern. Die Schweizerische Universitätskonferenz, SUK, investiert etwa 15 Millionen Franken über drei Jahre in die Entwicklung von Petaflop-Software. Das

Die HPCN-Strategie des Bundes

Hochleistungsrechnen hat für die Wissenschaft, die Wirtschaft und für die Gesellschaft eine hohe strategische Bedeutung. Mit einer Strategie für Hochleistungsrechnen und Vernetzung (HPCN, High Performance Computing and Networking) legen Bund, ETH-Bereich und Hochschulen die Basis für ein international kompetitives schweizerisches Supercomputer-Netzwerk. Diese Strategie hat der ETH-Rat 2007 im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung und Forschung SBF entwickelt. Im Frühjahr dieses Jahres hat der Bundesrat die Umsetzung dieser Strategie beschlossen. Ziel ist, dass die Schweiz bis 2012 ein nationales Petaflop-Rechnersystem am CSCS aufbaut. In Lugano wird dafür ein neues Gebäude erstellt, da die Infrastruktur am heutigen Standort in Manno nicht mehr ausreicht. Zur Kühlung soll Seewasser eingesetzt werden. Im Vergleich mit einer konventionellen Luftkühlung ist diese umwelt-, energiefreundlicher und günstiger.



Programm heisst «Swiss High Performance and High Productivity Computing Platform», kurz HP2C. Die Anträge werden zurzeit evaluiert, und wir rechnen damit, dass etwa zehn bis 15 Projekte an verschiedenen Schweizer Universitäten, der EPFL und der ETH umgesetzt werden.

Profitiert auch die Ausbildung vom HPCN-Projekt?

Das ist eines der Ziele. Insbesondere durch die Projekte der SUK wollen wir Themen wie zum Beispiel «Massive Parallel Computing» und das High Performance Computing in die Informatik-Curricula der Universitäten integrieren.

Der neue Rechner ist vor allem für die Wissenschaft geeignet. Was hat die Schweizer Wirtschaft davon?

Da besteht ein enger Zusammenhang. Die Schweizer Wirtschaft und die Gesellschaft profitieren von den wissenschaftlichen Erkenntnissen, die aus Simulationen abgeleitet werden. Zum Beispiel werden die Wetterprognosen der MeteoSwiss am CSCS berechnet. Ein anderes Unternehmen berechnet und visualisiert bei uns Turbinen. Mit dem neuen Rechner kann es zusammen mit unserem Know-how seine eigene Simulationskompetenz verbessern. Bei der Technologieentwicklung im Supercomputing werden sich für die Schweizer Unternehmen neue Möglichkeiten ergeben.

Sie haben lange in den USA geforscht. Wie unterscheiden sich Investitionen bei den Supercomputern dort von denen in der Schweiz?

In den USA wird vor allem in Computerhardware und deren Entwicklung investiert. Aus wirtschaftlicher Sicht macht das Sinn, denn damit werden vor allem amerikanische Computerfirmen quersubventioniert. Aus wissenschaftlicher Sicht wird aber zu wenig in Softwareentwicklung investiert. Mit dem HP2C-Projekt und der HPCN-Strategie investieren wir in der Schweiz in die Applikationsentwicklung für die künftigen Generationen von Supercomputern. Dieser Beitrag findet auch in den USA Anerkennung und stösst vor allem bei Firmen auf Interesse, weil sie vielversprechende Applikationen studieren müssen, damit künftige Rechnerarchitekturen auch wirklich effizient laufen. //

Nationaler Strategischer Plan für Hochleistungsrechnen:
→ http://www.ethrat.ch/download/-Strategie%20HPCN_d_070924_ETHR.pdf

Swiss High Performance and High Productivity Computing Platform:
→ <http://www.hp2c.ch/>

Website der Schweizer High-Performance-Service-Dienstleister:
→ <http://www.hpc-ch.org>

Thomas Schulthess ist seit 1. Oktober 2008 Professor für Computational Physics und Direktor des Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrums CSCS in Manno, das der ETH Zürich unterstellt ist. Er arbeitete über zwölf Jahre am Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Tennessee, USA. Ab 2002 leitete er die «Computational Materials Science Group». Thomas Schulthess studierte Physik an der ETH Zürich, wo er 1994 auch doktorierte. Sein wissenschaftlicher Fokus liegt auf dem Gebiet des Nanomagnetismus und der Berechnung der elektronischen Struktur von magnetischen Materialien.

Wozu wir Superrechner brauchen

Beispiel Klimaforschung

Feine Maschen für Wirbelstürme

PC-Nutzer kennen das: Kaum steht der neue Rechner zu Hause, ist er schon wieder zu langsam. So geht es auch den Klimaforschern. Ihr Hunger nach Rechenleistung ist selbst durch immer schnellere Supercomputer kaum zu stillen. Der Grund: Um verlässliche Aussagen über Klimaveränderungen der kommenden Jahrzehnte machen zu können, sind Modellierungen mit Millionen Zeitschritten nötig. Ausserdem muss das Rechnernetz möglichst fein sein, damit auch lokale Veränderungen nicht durch die Maschen fallen.

Ein interessantes Forschungsobjekt für die Klimaforscher sind tropische Wirbelstürme. Ulrike Lohmann, Professorin am Institut für Atmosphäre und Klima der ETH, möchte Hurrikans simulieren, um deren Entstehungsweise besser zu verstehen. Herkömmliche lokale Modelle, die am Äquator ein Netz mit über 300 Kilometer Kantenlänge pro Rechenzelle über die Erde legen, sind dafür aber zu grob, denn der interessante Kern der Wirbelstürme ist deutlich kleiner. Dank des Supercomputers am Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrum CSCS hat das Team die Maschenweite auf 111 Kilometer verkleinert, mit der neuen Monte-Rosa-Maschine soll sie nun nochmals auf die Hälfte schrumpfen. Diese Auflösung macht erstmals lokale Unterschiede des Luftdrucks

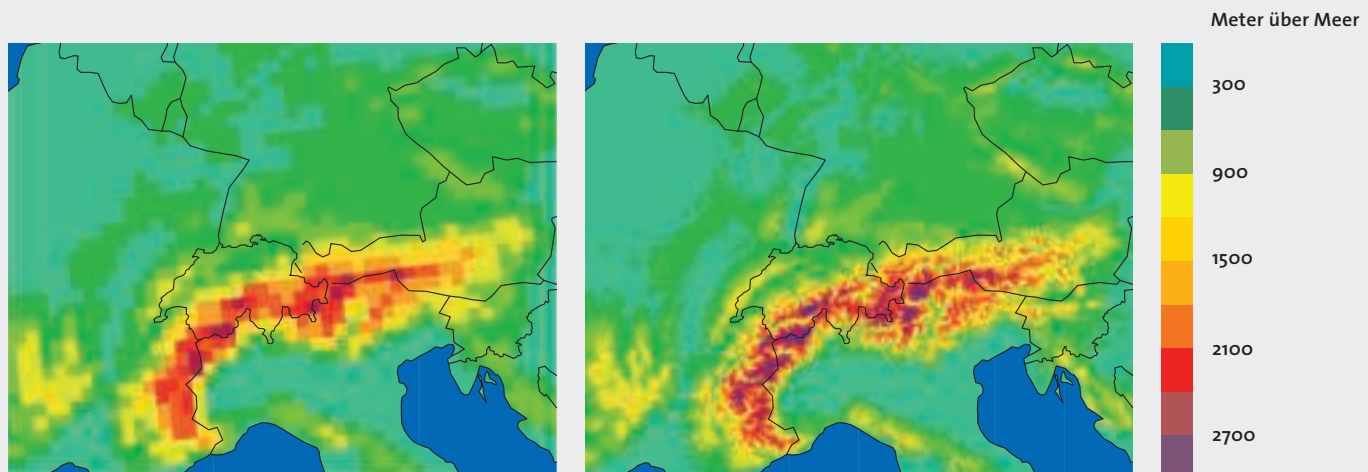
sichtbar, die für die Entstehung eines Hurrikans entscheidend sind. Ziel ist, das Modell an früheren realen Wirbelstürmen zu testen und Vorhersagen zu machen, wie solche extremen Wetterereignisse bei veränderten Klimabedingungen entstehen. Klimaforscher vermuten, dass es künftig nicht mehr, dafür aber heftigere Wirbelstürme geben wird. «Ob das stimmt, werden unsere Modelle zeigen», verspricht Lohmann und wünscht sich eine weitere Aufrüstung des CSCS. Lohmann: «Im Moment müssen wir die Daten reduzieren, weil wir gar nicht genug Speicher haben.»

Eine höhere Auflösung ist auch das Ziel eines Forschungsantrags, den Lohmanns Institutskollege Professor Christoph Schär am CSCS gestellt hat. Das Team will ein regionales Klimamodell berechnen mit einer Maschenweite von 2,2 Kilometern statt wie bisher mit 25 Kilometern. Hier hilft die Verfeinerung unter anderem, Gewitterwolken zu modellieren, die beim groben Modell einfach durch den Raster fielen und so die Rückkopplungsmechanismen im Wasserkreislauf besonders im Sommer besser erklären. Solche feinen Modelle nutzen Meteorologen bereits zur Wettervorhersage, doch diese reichen nur wenige Tage weit. «Wir wollen Jahrzehnte in die Zukunft rechnen», sagt Jürg Schmidli, Oberassistent für hochauflösende Klimamodellierung bei Professor

Schär, «und die Rechenzeit ist bisher ein limitierender Faktor.»

In drei Jahren, schätzt Schmidli, werde genug Rechenleistung am CSCS zur Verfügung stehen, um ein komplettes Langfristklimamodell mit regionaler Auflösung zu berechnen. Das beschränkt sich allerdings immer noch auf ein etwa 1000 mal 1000 Kilometer grosses Gebiet mit den Alpen und Teilen Deutschlands und Frankreichs. Schon dafür ist der Bedarf an Rechenleistung enorm: Rund 5000 Prozessorstunden sind nötig, um das regionale Klima für einen Monat zu simulieren, mit einer Zeitauflösung von 40 Sekunden. Heute nutzt Schärs Team 500 Prozessoren, so dass ein Modellmonat zehn Stunden Rechenzeit verschlingt. Bei diesem Rechentempo lassen sich nur wenige Monate modellieren. Künftig sollen mehrere Tausend Prozessoren die Rechendauer verkürzen und die Reichweite des Modells auf Jahre ausdehnen. Dafür will das Team die Algorithmen verbessern. «Der Code skaliert noch nicht gut genug für tausende von Prozessoren», so Jürg Schmidli. Rechentempo ist nicht alles, beachtlich ist auch der benötigte Festplattenspeicher: Zehn Jahre Simulation belegen etwa 20 Terabyte. //

Bernd Müller



Dank der Supercomputer können Klimamodelle immer feinmaschiger berechnet werden. So lassen sich mit einer Maschenweite von 2,2 Kilometern (rechts) Details modellieren, die bei einer Maschenweite von 25 Kilometern (links) durch den Raster fallen.

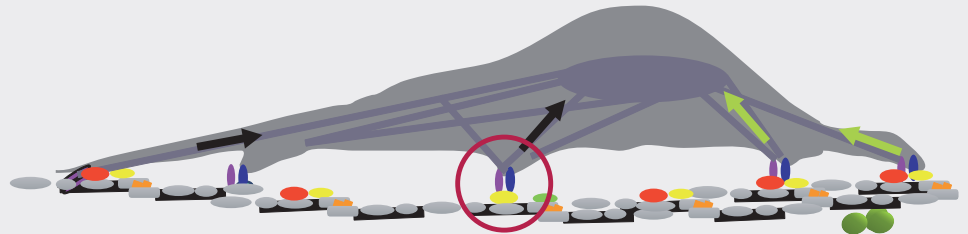
Beispiel Molekulardynamik

Kräftemessen an der Zelle

«Ohne die Forschung mit den Supercomputern hätten wir nur wenig darüber erfahren, wie sich Proteine unter Einwirkung von mechanischen Kräften verhalten», sagt Viola Vogel, ETH-Professorin für Biologisch-Orientierte Materialwissenschaften. Die Physikerin weiss, wovon sie spricht. Seit Jahren beleuchtet sie Aspekte der biologischen Nanowelt. Sie interessiert sich beispielsweise dafür, wie mechanische Kräfte die Bindung zwischen einer Zelle und dem Raum zwischen den Gewebezellen, der so genannten «extrazellulären Matrix», beeinflussen. Und was die Beeinflussung der Zell-Zell-Bindung für das Verhalten von Zellen und für die Entstehung und Folgen von Krankheiten bedeutet.

Um Antworten zu finden, setzt die Forscherin auf Computersimulationen im Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrum CSCS – aus Überzeugung, aber auch aus einer bestimmten Not heraus. Denn wenn mechanische Kräfte auf zelluläre Proteine einwirken – etwa, wenn man an ihnen zieht –, werden die Eiweisse gestreckt, wodurch sich ihre Struktur verändert. «Bislang aber gibt es keine experimentellen Verfahren, mit denen sich die Struktur und die Dynamik in gestreckten Proteinen untersuchen lässt», sagt Viola Vogel. Man kann lediglich die Gleichgewichtsstruktur von Proteinen ermitteln – sozusagen ihre Form ohne «mechanischen Stress». Mit diesen Gleichgewichtsstrukturen füttern die Forscher die Hochleistungsrechner des CSCS. Und überlegen sich genau, aus welchen Richtungen und mit welcher Stärke mechanische Kräfte auf Zellen unter natürlichen Bedingungen einwirken. Denn auch derlei Informationen fliessen in die Computersimulationen ein und bestimmen deren Ergebnisse entscheidend.

Grundsätzlich sind Zellen eines Gewebes durch eine Kette verschiedener Proteine miteinander verbunden. Im Zentrum der Kette befinden sich die «Integrine», die die Hülle (Membran) der Zellen durchziehen. Im Zellinneren sind die Integrin-Moleküle mit dem



Wie mechanische Kräfte die Bindung zwischen einer Zelle (hier schematisch in Grau dargestellt) und dem Raum zwischen den Gewebezellen, der so genannten «extrazellulären Matrix» beeinflussen, das erkunden Viola Vogel und ihr Team mithilfe von Supercomputern. Besonders interessieren sich die Forscher für die Proteine Integrin (blau und lila) sowie Fibronectin (gelb), welche die Kraftsignale an den Zellkern übertragen.

Cytoskelett verbunden – lang gestreckten Eiweissen, die der Zelle Halt und Struktur geben. Die Kopplung ans Cytoskelett kommt zustande über Gerüstproteine wie etwa Talin. Viola Vogels Mitarbeiterin Vesa Hytönen hat in einer hoch auflösenden Computersimulation im atomaren Massstab an den Talin-Proteinen gezogen. Bis ins letzte Detail konnten die Forscher beobachten, was die Dehnung bewirkt: Indem Wassermoleküle in das in seiner Struktur gestörte Molekül eindringen, bindet es mit einem anderen Protein namens Vinkulin. Durch verschiedene Umordnungen innerhalb dieses Komplexes kann dann auch Vinkulin an das Zytoskelett binden. «Damit wird die Bindung des Zellinneren an die extrazelluläre Matrix verstärkt», so Vogel.

Ähnliche Prozesse im Kampf gegen mechanischen Stress hat ihr Team auch jenseits der Membran, in der extrazellulären Matrix, beobachtet. Und jüngst hat Vogels Team mit einer Simulation sogar nachgewiesen, «dass mechanische Kräfte die Aktivierung von Integrinen beschleunigen.» Das hat Folgen. Denn aktivierte Integrine sind beteiligt an vielen biochemischen Signalprozessen, die Wachstum und Stoffwechsel der Zellen beeinflussen. Tatsächlich stehen einige Krankheiten in Zusammenhang mit mechanischer Über- oder Unterstimulation – etwa Osteoporose oder hoher Blutdruck. Überdies reagieren Zellen einiger Tumoren auf mechanische Kräfte. «Auch Stammzellen», sagt Viola Vogel, «werden durch mechanische Eigenschaften ihrer Umgebung reguliert.» So verwundert es kaum, dass die Forschungen

der Physikerin nicht nur von grundsätzlicher Neugier getrieben sind, sondern auch von medizinischem Interesse. Zwei weitere Beispiele verdeutlichen das. Zum einen ist es noch immer nicht geglückt, Leber-, Herz- oder Nierenzellen an einem Gerüst aus synthetischen Materialien so wachsen zu lassen, dass daraus entsprechende funktionstüchtige Gewebe entstehen, mit denen sich verloren gegangenes Gewebe ersetzen liesse. Dass die Forscher durch ihre Computersimulationen nach und nach die Details der Interaktion zwischen Zellen und ihrer Umgebung begreifen, könnte zukünftig die Gewebezüchtung erleichtern.

Zum Zweiten hat das Vogel-Team mit Experimenten und Simulationen so genannte «catch bonds» nachgewiesen und deren Funktionsweise aufgeklärt. Das sind Bindungen, die stärker werden, wenn man an ihnen zieht. Damit verhaken sich etwa krankheits-erregende Bakterien an Nierengewebe – auch wenn die Nieren ordentlich durchspült werden. «Die Entschlüsselung der «catch bonds»», sagt Viola Vogel, «war bislang eine unserer wichtigsten Entdeckungen.» Auch dank der Superrechner des CSCS. //

Klaus Wilhelm

Beispiel Knochensimulation

Wenn Rechner Knochen brechen

In Peter Arbenz' Büro ist es angenehm unangenehm. Dabei hätte der Professor für Wissenschaftliches Rechnen am Departement Informatik der ETH Grund, stolz zu sein. Vor drei Jahren löste er mit einem ausgeklügelten Algorithmus und spezieller Software ein Gleichungssystem, das über eine Milliarde Unbekannte enthielt – Weltrekord. Mittlerweile konnte er diese Grenze auf 1,7 Milliarden Freiheitsgrade anheben.

Was wie mathematisches Turnen auf höchstem Niveau klingt, hat einen realen Hintergrund. Arbenz arbeitet mit Biomechanik-Professor Ralph Müller zusammen. Arbenz sollte für ihn mit dem Computer die mechanischen Belastungen auf Knochen simulieren. Die Biomechaniker erhoffen sich von solchen Simulationen Voraussagen über das Knochenbruch-Risiko von Osteoporose-Patienten. Dazu braucht es einiges. Zum Beispiel hochaufgelöste Computertomographien, die Müllers Gruppe macht. Diese Bilder zeigen die Feinstruktur der Knochen detailgetreu, sind aber nur Momentaufnahmen. Hier kommt Arbenz ins Spiel. Er wandelt das Bild der Knochenstruktur in Millionen von kleinen Würfeln – dreidimensionale Pixel, die als Voxel bezeichnet werden – um. Jedes Voxel hat acht Ecken, die sich unter simuliertem Druck in drei Richtungen verschieben lassen. Anhand der Verschiebungen in den Eckpunkten dieser Voxel kann er schliesslich Spannungen berechnen, die im trabekulären Knochen auftreten.

Diese Berechnungen führen zu Gleichungssystemen von unvorstellbarer Grösse. Nur Grosscomputer wie Cray XT3/XT4 und der IBM Blue Gene sind in der Lage, diese Gleichungen innert nützlicher Frist zu lösen. So braucht der Supercomputer am Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrum CSCS in Manno für die Auflösung der Gleichung mit 1,7 Milliarden Freiheitsgraden zwölf Minuten.

Ohne geeignete Software und Vereinfachungen geht dies nicht. Der Informatikprofessor hat deshalb einen Algorithmus erdacht, der die Rechnung vereinfacht, und er setzt bei der iterativen Lösung der Gleichungen einen äusserst speichereffizienten Vorkonditionie-

rer ein. Die Daten müssen für die parallele Rechnung – das Programm läuft auf über 1000 Prozessoren gleichzeitig – geschickt angeordnet werden, so dass die Prozessoren möglichst wenig Informationen austauschen müssen. Hätte Arbenz die vollständige Gleichungsmatrix berechnen lassen, wären mehrere Exabyte (10^{18} Bytes) an Speicherplatz nötig gewesen. Dies entspricht dem Speicherumfang von über einer Milliarde PCs!

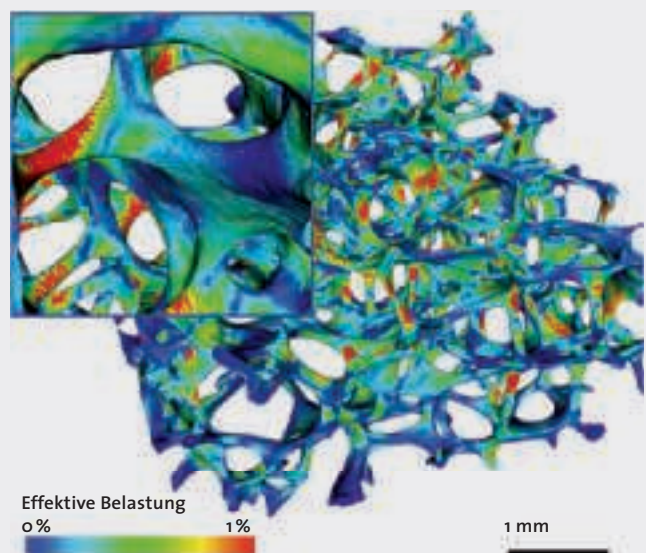
«Der Computer spuckt allerdings nur einen Zahlenfriedhof aus», betont Arbenz. Bis man die mehrfarbigen Knochenbilder erhält, die die Schwachstellen im Knochenaufbau aufdecken, müssen Spezialisten die Zahlen erst sinnvoll visualisieren, was ebenfalls auf Parallelrechnern geschieht.

Die Simulation des Risikos für einen Knochenbruch bringt die Biomechaniker einen grossen Schritt weiter. Die Simulationen decken sich zu 75 bis 95 Prozent mit Daten aus mechanischen Tests. Ziel ist es, dass solche Berechnungen der Knochenqualität in den medizinischen Alltag integriert werden können. Ein Arzt könnte dann ein CT-Bild des Vorderarms eines Patienten auswerten und das Bruchrisiko des Knochens am PC abschätzen. Mit dem Patienten könnte er besprechen, welche Einschränkungen für ihn gelten und ob eine medikamentöse Behandlung notwendig ist. «Diese Entwicklung ist derzeit im Gang», sagt Elektroingenieur David Christen, Doktorand bei Ralph Müller. Er schätzt, dass in etwa fünf Jahren solche Lösungen für weniger komplexe Simulationen kommerziell erhältlich sein könnten und für den routinemässigen Einsatz in den Kliniken bereit sein werden. Dabei hilft, dass Computer-Cluster immer günstiger und leistungsfähiger werden.

Um die Simulationen zu verfeinern und die Resultate zu verbessern, versuchen die Biomechaniker nun, komplexere Modelle für das Materialverhalten des Knochens zu verwenden. Dadurch werden die Simulationen zwar um ein Vielfaches aufwändiger, erlauben es aber, die Alterung und den kontinuierlichen Abbau der Knochen zu berücksichtigen.

Beim gegenwärtigen Stand des Programms, das die Forscher verwenden, darf das rechnerische Problem allerdings nicht mehr viel weiter erhöht werden. Denn das Programm benutzt teilweise von Dritten einen Code, der Vektoren, die länger als zwei Milliarden (entsprechend 31 Bit) sind, noch nicht verarbeiten kann. Die Anpassung sei aber nur noch eine Frage von Monaten, hofft Peter Arbenz. Ironie des Schicksals: Bis es so weit ist, muss sich der Informatiker trotz oder gerade wegen der modernen Rechernausrüstung in Geduld üben. //

Peter Rüegg

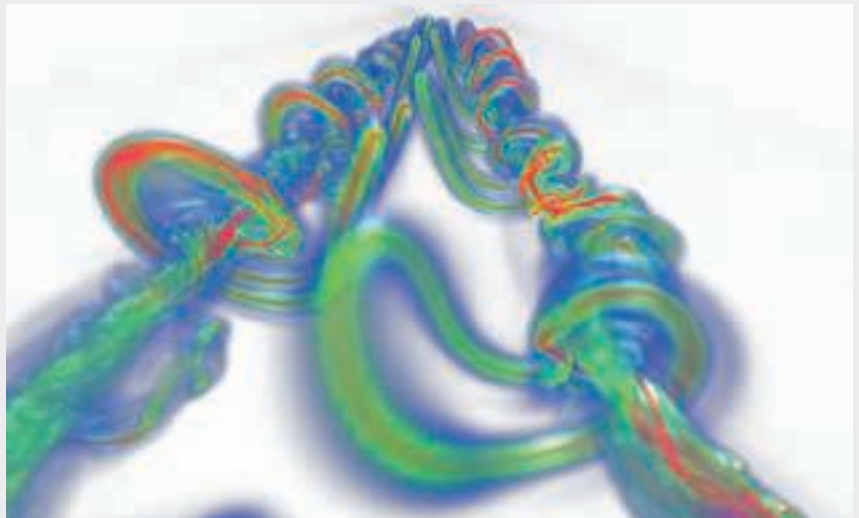


Resultat einer Finite-Elemente-Analyse von Knochen eines Osteoporose-Patienten. Dazu wurde ihm Knochenmaterial entnommen, das im Labor mittels Computertomographie analysiert wurde. Mit den Daten wird anschliessend simuliert, wie sich der Knochen unter mechanischer Belastung verhält.

Beispiel Fluidynamik

20 Milliarden Unbekannte

Die bunten Schleifen sind Wirbelschleppen eines Flugzeugs. In der Realität können sie nachfolgende Maschinen sogar zum Absturz bringen. Wie sie entstehen, und vor allem, wie sie sich verhindern lassen, simulieren Petros Koumoutsakos und sein Team mithilfe neuester Computertechnologie.



Blaue, gelbe und rote Bänder, ineinander verschlungen wie gefrorener Rauch: Was in der Simulation des Computational Science and Engineering Lab der ETH Zürich wie ein modernes Kunstwerk aussieht, ist in Wirklichkeit lebensgefährlich. Die bunten Schleifen sind Wirbelschleppen, die Flugzeuge bei Start und Landung hinter sich herziehen und die nachfolgenden Flugzeuge gehörig durchschütteln und sogar zum Absturz bringen können. Bisher war nicht klar, wie diese Wirbel auf der Nanoskala der Luftmoleküle entstehen, und vor allem, wie sie sich verhindern lassen.

Dieses Rätsel hat das CSE Lab mit einer gigantischen Rechenaufgabe gelöst: Eine Milliarde Partikel – in der Realität sind das die Luftmoleküle – simuliert der Algorithmus und löst dabei eine Gleichung mit 20 Milliarden Unbekannten – das ist Weltrekord. Vor zwei Jahren dauerte das auf dem Supercomputer am Watson-Forschungslabor des Projektpartners IBM 70 Sekunden für eine Milliarde Partikel. Mit der neuen Cray-Maschine am Schweizerischen Hochleistungsrechenzentrum CSCS ist die Rechenzeit auf 26 Sekunden geschrumpft.

Doch schnellere Computer bringen wenig ohne die passenden Algorithmen. «Wir müssen auch die Effizienz steigern», sagt Professor Petros Koumoutsakos, Leiter des CSE Lab.

Denn die Wissenschaftler befinden sich in einem Teufelskreis: Bestimmte physikalische Effekte wie die Luftwirbel hinter einem Flugzeugflügel zeigen sich in den Simulationen erst, wenn man das Rechnernetz fein genug oder die Zahl der Partikel gross genug wählt. Im Falle der Luftwirbel wollen die Wissenschaftler die Strömung mit einer möglichst hohen Reynoldszahl berechnen, denn von der hängt es ab, ob das Modell das Umschlagen von laminarer in turbulente Strömung richtig berechnet. Allerdings steigt die Zahl der Rechenelemente mit dem Quadrat der Reynoldszahl und die wiederum mit der Geschwindigkeit des Flugzeugs und dessen Flügelspannweite. Das heisst: Rechnet man zu grob, gibt die Simulation die Entstehung und den Zerfall der Wirbel nicht korrekt wieder. Doch das ist wichtig, wenn man geeignete Gegenmassnahmen ergreifen will. Das könnten zum Beispiel bewegliche Flügelhinterranten sein – so genannte Flaps –, die durch leichtes Flattern gezielt Instabilitäten in die Wirbel induzieren.

Um solche Fragen beantworten zu können, sind neue adaptive Algorithmen für Multi-core-Computer – Rechner mit Tausenden Prozessoren – nötig, die ihr Verhalten nach der Zahl der Prozessoren, der Grösse des Speichers oder weiteren Parametern so ändern, dass der Rechner möglichst gleichmässig

ausgelastet wird. Viele ungelöste Fragen warten auf solche Supercomputer-Algorithmen, etwa wie sich Nanopartikel im Blutstrom bewegen oder was beim Kristallwachstum an der Grenzfläche von Kristall und Lösung geschieht.

So will das Team von Petros Koumoutsakos auch dem Phänomen der Kavitation auf die Spur kommen. In einer strömenden Flüssigkeit können sich bei sinkendem Druck Dampfblasen bilden, die schlagartig kollabieren und Schockwellen aussenden. Die perforieren die Schaufeln von Wasserturbinen, als würden dort Schrotkugeln einschlagen. Das mindert die Lebensdauer und den Wirkungsgrad. Zusammen mit dem Labor für Hydraulikmaschinen der EPF Lausanne will das CSE Lab mit neuen Algorithmen künftige Wasserturbinen so optimieren, dass bei ihnen Kavitation gar nicht erst entsteht. Für solche wissenschaftlichen Probleme gab es bisher weder theoretische noch experimentelle Alternativen; man ging nach dem Prinzip Versuch und Irrtum vor. Doch diese Zeiten sind vorbei. Petros Koumoutsakos: «Mit grossen Computern und effizienten Algorithmen stossen wir an die Grenzen von Wissenschaft und Technik vor.» //

Bernd Müller

Quantensprung mit Zwitterteilchen

Die andauernde Miniaturisierung beim herkömmlichen Computer stösst bald an ihre physikalischen Grenzen. Der nächste grosse Schritt in der Informationstechnologie könnte deshalb das Rechnen mit quantenmechanischen Zuständen sein, das sogenannte Quantencomputing. Komplexe kryptographische Codes liessen sich damit super effizient knacken.

Text: Samuel Schläfli

Der Mensch trifft jeden Tag rund 20 000 Entscheidungen: Soll ich den Regenschirm vorsorglich mitnehmen oder doch lieber zuhause lassen? Soll ich zuerst die privaten E-Mails anschauen oder die geschäftlichen? Soll ich am Feierabend noch zum Sport oder doch lieber mit Freunden zum Abendessen? Was wäre, wenn Sie den Regenschirm sowohl mitnehmen als auch zuhause lassen könnten; sowohl die privaten als auch die geschäftlichen E-Mails zuerst anschauen könnten und sowohl zum Sport als auch zum Abendessen gehen könnten? Beides gleichzeitig – hier und jetzt! Befürchten Sie vielleicht, dass Sie jemand in diesem unentschlossenen Zwitterzustand oder an zwei Orten gleichzeitig entdecken könnte? Doch keine Angst; sobald Sie jemand sieht, haben Sie sich bereits wieder auf die eine Tätigkeit festgelegt. Klingt das nach Spinerei oder abgefahrener Science Fiction? Ge-

nau so verhalten sich aber einzelne Teilchen in der Quantenphysik. Sie wollen sich nicht festlegen; kommen in angeregtem und nicht-angeregtem Zustand, genauso wie im «sowohl angeregten als auch nichtangeregten» Zustand vor. Das klingt für unser an Kausalitäten und eindeutig definierte Zustände gewöhntes Hirn unerhört; schon fast wie ein Angriff auf unser von eigenen Erfahrungen geprägtes Weltbild. Selbst Albert Einstein hatte seine Mühe damit und meinte 1926: «Gott würfelt nicht.» Er hielt die Quantentheorie für unvollständig und befasste sich ein halbes Leben lang mit der Erweiterung der Quantenmechanik. Jedoch erfolglos, schliesslich stellte er eine Theorie auf, wonach Quantenzustände nur aufgrund von «verborgenen Variablen» dermassen spukhaft scheinen und unerklärlich sind. Mit vielen Experimenten wurde mittlerweile jedoch bewiesen, dass >



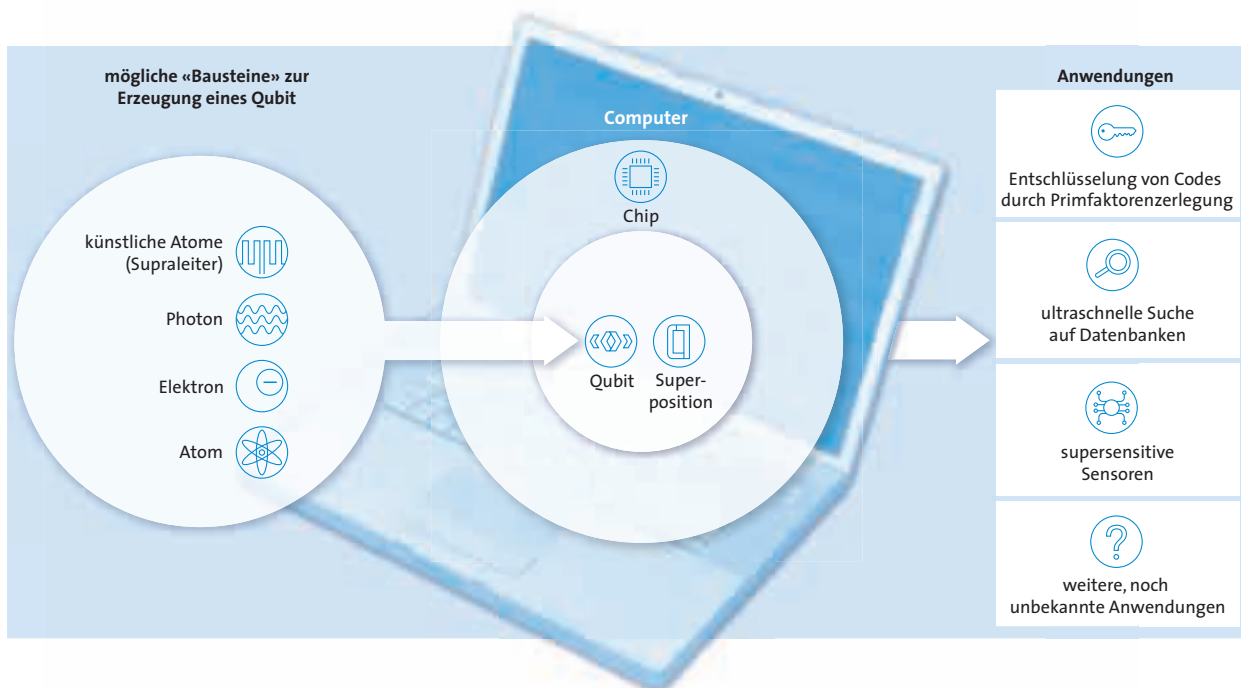
das «Sowohl als auch» von Teilchen wie Atomen, Elektronen oder Photonen keine Spinnelei, sondern Realität ist.

Quantenengineering für ein neues Informatikzeitalter

Bis heute sind Physiker und Philosophen von der Quantenphysik und der Frage fasziniert, wieso quantenmechanische Effekte nur bei kleinsten Teilchen, nicht aber in unserer sichtbaren Welt, vorkommen. Klaus Ensslin, Professor für Experimentalphysik am Laboratorium für Festkörperphysik der ETH Zürich, beschäftigt sich schon seit Jahren mit dem Mysterium solcher Phänomene. Er erklärt, weshalb die Forschung an Quantensystemen gerade heute wieder eine Renaissance erlebt: «Lange Zeit ha-

ben wir uns darauf beschränkt, quantenmechanische Vorgänge zu beschreiben und zu verstehen. Der Ansatz, diese gezielt für Anwendungen zu nutzen, also quasi ein Quantenengineering zu betreiben, ist relativ neu.» Losgetreten hat diese Lawine der Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman. Er formulierte 1982 erstmals die Idee, die Quantenmechanik für ein Computersystem zu nutzen – die wunderbare Vorstellung eines Quantencomputers war geboren und blieb in den Köpfen vieler Physiker bis heute haften. Feynmans revolutionäre Idee: Die Bits, auf deren Grundlage sämtliche Rechenoperationen in herkömmlichen Computern ablaufen, könnten durch Quantumbits, sogenannte Qubits, ersetzt werden. Computer basieren bis heute auf dem Binär-

system. Jede Rechenoperation kommt dadurch zustande, dass sich ein Bit entweder im Zustand 0 oder 1 befindet. Das Qubit könnte laut Feynman durch Nutzung der quantenmechanischen Eigenschaften noch einen dritten Zustand einnehmen: Sowohl 0 als auch 1. Diese «Superposition» des Qubits sollte gemäss Feynmans Theorie komplett neue Dimensionen der Rechenleistung eröffnen: Komplexe kryptographische Verschlüsselungen sollten mit enormer Effizienz aufgelöst werden; aufwendige Datenbankabfragen nur noch wenige Rechenschritte benötigen. Die gewaltige Kapazität des potentiellen Quantencomputers beruht auf dessen Parallelität. Dazu ein Beispiel: Heutige Verschlüsselungscodes von Banken, der Regierung oder dem Mi-



Unterschiedliche Teilchen können als Qubits für Rechenvorgänge im Quantencomputer genutzt werden. Quanteningenieure erforschen zurzeit, wie ein solches Computersystem einst aufgebaut sein könnte. Doch schon heute ist klar: Der Quantencomputer könnte ausgewählte Aufgaben mit bisher nicht erreichter Effizienz lösen.



Blick auf den Quantensimulator der Forschungsgruppe von Tilman Esslinger, Professor am Institut für Quantenelektronik der ETH Zürich.

litär basieren auf der Tatsache, dass die Primfaktorzerlegung grosser Zahlen für einen klassischen Computer sehr aufwendig ist. Bei einem Hackerangriff werden die grossen Zahlen sequenziell zerlegt, also nacheinander durch sämtliche möglichen Primfaktoren geteilt, bis die Zahlen vollständig aufgeschlüsselt sind. Dazu braucht selbst der leistungsstärkste, heute verfügbare Computer Jahrhunderte, womit die Sicherheit des Systems gewährleistet ist. Ein Quantencomputer hingegen entschlüsselt einen Code nicht sequenziell, sondern parallel; teilt also quasi gleichzeitig alle Zahlen durch sämtliche Primfaktoren. Dasselbe gilt auch für Datenbankabfragen: Der Binärsystem-Computer durchforstet, zum Beispiel bei der Suche einer bestimmten Telefonnummer in einer Datenbank, sämtliche Nummern sequenziell, bis er «per Zufall» auf die Zielnummer stösst. Der Quantencomputer hingegen kann eine Nummer durch die Überlagerung von Daten in der Superposition des Qubits parallel suchen und dadurch wesentlich schneller finden. Getrieben von Feynmans Ideen, begannen Physiker mit dem gezielten Engineering von Transistoren, deren Funktionsweise auf quantenmechanischen Prinzipien beruht. «Zu Beginn standen wir dieser Entwicklung kritisch gegenüber, denn das Engineering gehört eigentlich nicht zu den Aufgaben des Physikers. Mittlerweile sind viele Quantenphysiker von diesem neuen Ansatz begeistert», sagt Ensslin. Vor rund zehn Jahren begannen sich erste Forschungsgruppen der ETH Zürich mit Qubits auseinanderzusetzen. Heute sind an der ETH elf Forschungsgruppen damit beschäftigt (siehe Kasten). Ensslin ist überzeugt, dass die Quantenwissenschaften äusserst zukunfts-trächtig sind: «Die klassische Computertechnologie stösst durch die stetige Miniaturisierung der Elektronik an die Grenze des

physikalisch Machbaren. Wenn es uns gelingt, die Quanteneigenschaften von Teilchen gezielt zu manipulieren und zu nutzen, dann eröffnet sich uns nochmals ein komplett neues Feld.» Zu diesem Schluss kamen in den vergangenen Jahren Forscher um den gesamten Erdball: Die Universität Cambridge, das Massachusetts Institute of Technology sowie das California Institute of Technology haben eigene Forschungsgruppen für Quanteninfor-

mationssysteme aufgebaut. In Waterloo wurde ein eigenes «Institute for Quantum Computing» mit 17 Professoren gegründet, und Singapur hat kürzlich für seine Quanteninitiative 100 Millionen Dollar investiert.

Qubits – das kapriziöse Verhalten einer Primadonna

Möglichkeiten, wie der Quantencomputer einst aufgebaut sein könnte, gibt es viele. >

Quantenwissenschaften als strategischer Forschungsschwerpunkt der ETH

In den vergangenen zehn Jahren entstand an der ETH Zürich eine einzigartige Situation: Forschungsgruppen aus der Chemie, der theoretischen und experimentellen Physik sowie den Computer- und Informationswissenschaften untersuchten unterschiedliche Quantensysteme und gingen dabei sehr ähnlichen Fragen auf den Grund. Zehn Institute und Laboratorien der ETH Zürich haben sich daraufhin 2004 departementübergreifend im INIT-Programm «QSIT» (Quantum Systems for Information Technology) zusammengeschlossen. Eine Finanzierung über den Nationalfonds stand damals aber noch ausser Frage, da das Gebiet dafür schlicht zu jung war. Die Schulleitung erkannte jedoch, dass die Quantenwissenschaften ein zukunfts-trächtiges Forschungsgebiet sind, und unterstützte QSIT finanziell, wobei 2010 das zweite Finanzierungspaket auslaufen wird. Nach Ablauf von QSIT sollen im Rahmen des strategischen Schwerpunkts «Quantenwissenschaften» der ETH Zürich vier neue Professuren geschaffen werden, die zwischen unterschiedlichen Departementen angesiedelt werden. Gleichzeitig sollen die relevanten Forschungsaktivitäten innerhalb der ETH Zürich und

unter Einbezug externer Partner in einem Zentrum für Quantenwissenschaften gebündelt werden. Projektleiter ist Klaus Ensslin, Professor für Experimentalphysik am Laboratorium für Festkörperphysik. Die Initiative soll die Schweiz im Bereich der Quantenwissenschaften international in eine einzigartige Position bringen. Im neuen IBM-ETH-Forschungslabor NETL (Nanoscale Exploratory Technology Lab) sind die Quantenwissenschaften einer der fünf Forschungsschwerpunkte. Gleichzeitig hat die ETH zusammen mit ihren Partnern IBM sowie den Universitäten Basel, Genf und EPF Lausanne beim Schweizerischen Nationalfonds einen Antrag auf eine Förderung im Rahmen eines Nationalen Forschungsschwerpunktes zum Thema Quantum Science and Technology eingereicht. Der SNF will mit seinen Forschungsschwerpunkten Forschung von strategischer Bedeutung für die Zukunft der schweizerischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft fördern. Im Frühjahr 2010 wird entschieden, welche fünf der 50 eingereichten Projekte vom SNF unterstützt werden.

→ www.qsit.ethz.ch

→ www.ethfoundation.ch

Als Qubits könnten unter anderem Atome, Elektronen und Photonen genutzt werden. Ensslins Gruppe forscht an nanostrukturierten Festkörpern, darunter vor allem Halbleiter. Diese werden in Form von Transistoren aus Silizium in den meisten gängigen Computern zur Datenverarbeitung eingesetzt. Ensslins Forschung dreht sich um einen so genannten Ein-Elektron-Transistor; einen Transistor also, der mit einem einzigen Elektron an- und ausgeschaltet werden kann. Das Elektron kann seinen Drehimpuls (Spin) entsprechend den Zuständen 0 und 1 beim Bit ändern. Ensslin nutzt den Spin des Elektrons als Qubit, denn dieser befindet sich meist in der Superposition des «Sowohl 0 als auch 1». «Wir untersuchen die Funktionsweise solcher Einelektron-Transistoren und wollen etwas über die Manipulation der Quanteneigenschaften der Elektronen und das Verhalten ihrer Spins lernen. Später wollen wir diese Systeme so gut wie möglich kontrollieren können», erklärt Ensslin. Das ist jedoch einfacher gesagt als getan, denn sobald ein Qubit mit seiner Umgebung in Kontakt tritt, entscheidet es sich für einen quantenmechanischen Zustand und verliert seine «Sowohl als auch»-Eigenschaft. Dieses Phänomen nennen Physiker Dekohärenz. Das gleiche gilt für die Messung: Sobald man den Zwitterzustand des Qubits messen will, legt es

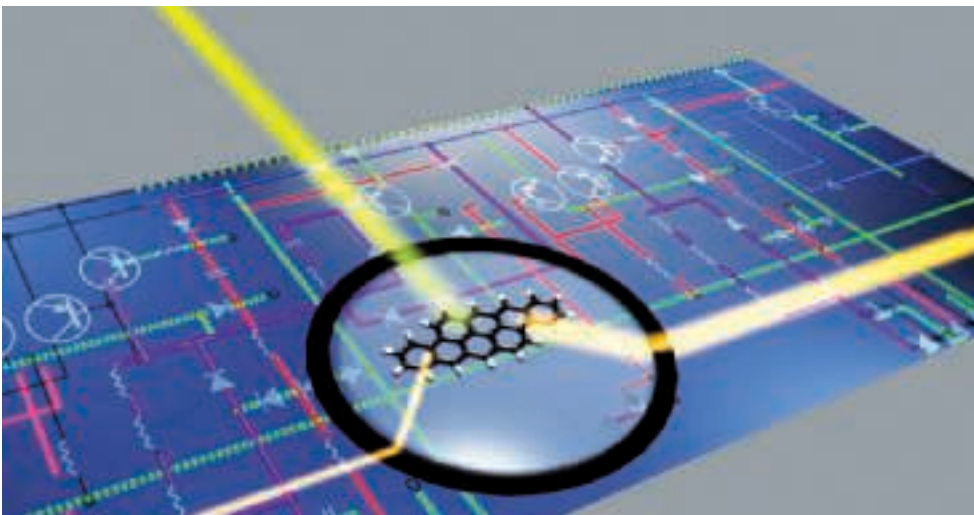
sich auf den Zustand 1 oder 0 fest und verliert damit die Möglichkeit einer Superposition. Die enorme Empfindlichkeit der Qubits macht den Forschern das Leben schwer: In einer laborfüllenden Apparatur «baut» Ensslin seine Ein-Elektron-Transistoren – 1000 Mal dünner als ein einzelnes Haar – bei Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt von minus 273 Grad Celsius. Bei diesen Temperaturen sind die Atome des Galliumarsenid-Chips, auf welchem das Qubit als Schaltung fungiert, «eingefroren». Die Elektronen gehen mit der Umgebung und entsprechend auch mit dem Elektronen-Qubit fast keine Wechselwirkung mehr ein. Dies ist die Grundbedingung, damit der Ein-Elektron-Transistor überhaupt funktionieren kann und nicht der Dekohärenz zum Opfer fällt – einem der grossen Stolpersteine auf dem Weg zum Quantencomputer. In neueren Versuchen nutzt Ensslin superdünne Graphenschichten als Träger der Qubits. Graphen besteht zu 99 Prozent aus dem C₁₂-Isotop, das keinen eigenen Kernspin besitzt und somit den Elektronen-Spin des Qubits nicht beeinflusst. Ensslins Ein-Elektron-Transistoren hätten gegenüber anderen Quantensystemen den Vorteil, dass diese mit Methoden hergestellt werden könnten, die aus der Halbleiterindustrie zur Mikrochip-Fabrikation bestens bekannt sind.

Unterschiedliche Ansätze, dieselben Probleme

Andreas Wallraff, Ensslins Kollege am Laboratorium für Festkörperphysik, forscht an einem anderen System zur Nutzung der Quanteneigenschaften. Seine Qubits sind aus elektrischen Schaltungen mit supraleitenden Materialien auf winzigen Mikrochips aufgebaut. Diese verhalten sich genauso wie einzelne mikroskopisch grosse Atome. Dieses System kann wie ein natürliches Atom mit einzelnen Photonen angeregt werden und sowohl in einem angeregten, einem nicht-angeregten und einem «Sowohl als auch»-Zustand vorkommen. Wallraffs «künstliche Atome» haben den Vorteil, dass sie trotz einer Grösse von nur wenigen Mikrometern eine Billion Mal grösser sind als natürliche Atome. Dadurch sind sie wesentlich besser handhabbar. Doch auch diese Versuche finden in einem Hightech-Kühlschrank bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt statt. Nur so haben nämlich die genutzten Schaltungen aus Aluminium supraleitende Eigenschaften und sind vor dem Einfluss der natürlichen Wärmestrahlung geschützt.

Tilman Esslinger vom Institut für Quantenelektronik dagegen untersucht zurzeit einzelne natürliche Atome in Aussicht darauf, diese einst als Qubits zu nutzen. Mit Laserstrahlen, Magnetfeldern und nahezu vollständigem Vakuum kühlt er die Atome eines extrem verdünnten Gases auf Temperaturen knapp über dem absoluten Nullpunkt. Bei diesen Temperaturen schliessen sich die Atome zu einem besonderen Materiezustand zusammen, dem Bose-Einstein-Kondensat. In diesem extremen Aggregatzustand befinden sich die meisten Teilchen im selben quantenmechanischen Zustand, wodurch das Kondensat spezifische physikalische Eigenschaften annimmt. Anschliessend steckt Esslinger die Atome in ein von Laserstrahlen gebildetes Kristallgitter aus Licht, wo sie gezielt manipuliert werden können. Diese Versuchsanordnung nutzen die Wissenschaftler auch als Simulator, mit dem bisher schwer berechenbare Quantensysteme unter kontrollierten Bedingungen nachgestellt werden können.

Wichtige Bestandteile eines Quantencomputers könnten einst auch optische Transistoren werden, glaubt Vahid Sandoghdar vom Labora-



Visionäre Darstellung einer photonischen Schaltung aus molekularen Elementen: im Vordergrund ist ein schematisches Bild eines optischen Transistors aus einem einzelnen Molekül zu sehen. Einer Forschungsgruppe um Vahid Sandoghdar, Professor am Laboratorium für physikalische Chemie an der ETH Zürich, gelang es kürzlich, einen optischen Transistor zu konstruieren.



Klaus Ensslin, Professor für Experimentalphysik an der ETH Zürich, ist Projektleiter der Initiative, die die Forschungsaktivitäten der ETH Zürich und weiterer Partner in einem Zentrum für Quantenwissenschaften bündeln soll.

torium für physikalische Chemie. Mit quantenoptischen Schaltern im Massstab von wenigen Nanometern liessen sich Transistoren kontrolliert regeln. Sandoghders Forschungsgruppe erzielte einen entscheidenden Durchbruch, indem es ihr gelang, einen optischen Transistor aus einem einzigen Molekül zu konstruieren. Sie nutzte dazu die Wechselwirkung von Lichtteilchen, so genannten Photonen, mit einzelnen Molekülen. Mittels Laser gelang es Sandoghdar, Moleküle kontrolliert in unterschiedliche Quantenzustände anzuregen. Das Molekül kann dadurch wie ein Transistor zum An- und Abschalten eines Lichtsignals genutzt werden. Optische Transistoren hätten im Gegensatz zu Schaltungen, die auf der Basis von Elektronen funktionieren, den Vorteil, dass sie deutlich weniger Wärme erzeugen. Damit wäre auch eines der Hauptprobleme gelöst, die für heutige Supercomputer limitierend sind.

Am Anfang eines vielversprechenden Wegs

«Die Herangehensweisen und der Versuchsaufbau der verschiedenen Forschungsgruppen an der ETH sind komplett unterschiedlich. In den grundsätzlichen Fragestellungen und der Theorie überschneiden sich unsere Arbeiten jedoch stark», erklärt Ensslin. All die Forschungsprojekte verbindet zudem, dass es sich um absolute Grundlagenforschung handelt, die noch weit von einer konkreten Anwendung entfernt liegt. Das gilt generell für die Forschung auf diesem Gebiet: Den bislang ersten funktionierenden Quantencomputer entwi-

ckelten 2001 Forscher der Universität Stanford zusammen mit IBM. Das Demonstrationsmodell mit sieben Qubits konnte die Zahl 15 in seine Primfaktoren zerlegen. «Das entspricht etwa der Leistung von klassischen Transistoren aus dem Jahr 1948», kommentiert Ensslin. Schwierig sei vor allem das anfängliche Hochskalieren des Systems auf zehn oder 100 Qubits. Sei dieser Schritt aber erst einmal geschafft, so dürfte dem Quantencomputer laut Ensslin nichts mehr im Weg stehen. Er betont jedoch: «Für uns Physiker ist der Weg das Ziel – in den meisten Fällen weiss man zu Beginn der Entwicklung einer neuen Technologie noch nicht genau, wofür diese einst eingesetzt wird.» Doch selbst wenn in den nächsten Jahren ein Quantensprung in der Hochskalierung eines Quantentransistors gelänge, würden die Zwitterteilchen noch lange nicht in all unseren Computern über die Mikrochips rattern. «Das Spektrum der möglichen Anwendungen ist im Moment noch überschaubar. Wir werden mit den Qubits weder unsere Rechnungen über E-Banking bezahlen noch damit E-Mails abrufen», ist Ensslin überzeugt. Anwendungen beim Computer werden sich nach Meinung der meisten Experten vor allem in der Kryptographie und der Datenbankabfrage finden. Zudem wären supersensitive Sensoren denkbar, die selbst kleinste atomare Bewegungen registrieren können. Ein System hat sich in der Praxis bereits bewährt: Einer Forschungsgruppe der Universität Genf gelang durch Nutzung von Quantensystemen eine absolut sichere

Datenübertragung. Auch in der Anwendung für den eigentlichen Rechenprozess wird über kurz oder lang mit einem Durchbruch gerechnet. Das zeigt sich schon alleine daran, dass viele staatliche und private Institutionen zurzeit hohe Summen in dieses Gebiet investieren. «Der Quantencomputer wäre der Killer für die derzeitige Kryptographie. Darum wollen sich diejenigen Branchen, welche auf eine Verschlüsselung ihrer Daten angewiesen sind, durch Investition in Forschung unbedingt einen Wissensvorsprung sichern», erklärt Ensslin. Wann Banken und Staaten mit den ersten Quanten-Hackerangriffen rechnen müssen, darüber will Ensslin noch keine klare Prognose wagen. Er hält es wie seine Qubits: «Es könnte in zehn Jahren sein, aber auch erst in 30 oder vielleicht sogar «sowohl als auch». //



Das menschliche Gehirn ist ein Vorbild für künftige Computer, nicht zuletzt wegen seines geringen Energieverbrauchs. Aber auch mit dem Verhalten von Ameisen bei der Futtersuche lassen sich knifflige Rechenaufgaben lösen.

Upgrade aus der Natur

Ob Ameisen, Vogelschwärme, winzige Moleküle, die Evolution oder das menschliche Gehirn: Wissenschaftler nutzen die Natur als Vorbild zur Lösung komplexer technischer Probleme – oder als Bauanleitung für Computer, die eines Tages, ähnlich dem Menschen, denken und handeln sollen.

Text: Christine Heidemann

Als die Rhesus-Äffin «Idoya» in der Duke University das Laufband betritt, beginnt einer jener wissenschaftlichen Versuche, der über die Fachwelt hinaus für Aufsehen sorgen sollte. Verkabelt mit Elektroden, die in das motorische Zentrum ihres Gehirns implantiert sind, nimmt Idoya den Rhythmus des Bandes auf. Die Elektroden übermitteln die dabei in ihrem Gehirn entstehenden Signale an einen Computer. Der kann mittels spezieller Algorithmen die Erregungsmuster der Nervenzellen sowie die dazu gehörigen Laufbewegungen «lesen» und leitet sie in Echtzeit an den Roboter «CB» (für «Computational Brain») weiter – der sodann mit der Äffin im Gleichschritt joggt. Doch es wird noch skurriler. Denn während sich Idoya in Durham im US-Bundestaat North Carolina befindet, schwingt CB 11 000 Kilometer entfernt in den japanischen ART Computational Neuroscience Laboratories in Kyoto seine metallischen Beine. Und: Als der verantwortliche Neurowissenschaftler Miguel Nicolelis das

Laufband in Durham abstellt, rennt CB weiter. Idoya steuert ihren Mitläufer, den sie die ganze Zeit per Bildschirm verfolgen kann, fortan allein per Gedankenübertragung. Als ob die Roboterbeine plötzlich ihre eigenen wären.

Das war im Januar 2008. Und noch heute, wie jüngst auf dem Symposium des Zürcher Zentrums für Neurowissenschaften an der ETH, berichtet Miguel Nicolelis lebhaft von diesem Experiment. Schliesslich gelang es erstmals, einen Roboter mit Hilfe von Hirnsignalen fernzusteuern.

Miguel Nicolelis ist einer jener Wissenschaftler, die Science Fiction Wirklichkeit werden lassen. Doch mit Fantasy-Abenteuern hat seine Forschung nichts zu tun: Experimente wie diese sind erste Schritte hin zu einem Brain-Computer-Interface (auf deutsch: Gehirn-Computer-Schnittstelle). Dabei handelt es sich um ein System, das es zum Beispiel gelähmten Menschen eines Tages ermöglichen soll, mit einem implantierten Neurochip allein per >

«Auf der Systemebene ist das Gehirn eine Million Mal energieeffizienter als jeder Computer.» Tobias Delbrück

Gedankenkraft eine Prothese zu steuern oder einen Computer zu bedienen.

Seit gut 50 Jahren befruchten sich Hirnforschung und Informationstechnologie gegenseitig; die Grenze zwischen Mensch und Computer scheint zusehends zu verschwimmen. Nicht nur für Miguel Nicolelis ist der Computer der Zukunft ein von der Natur inspirierter. Systeme, die sich über Jahrtausende bewährt haben, indem sie permanent optimiert wurden, so die Argumentation vieler Wissenschaftler, könnten etliche Nachteile heutiger Computer wettmachen. Und die Möglichkeiten, natürliche Phänomene für Rechenoperationen zu nutzen, sind erstaunlich vielfältig. Biologen und Mediziner etwa setzen auf die Rechenkünste der Erbsubstanz; Elektroingenieure lassen die Evolution für sich arbeiten. Und Neuroinformatiker aus aller Welt tüfteln eifrig daran, die Schaltzentrale in unserem Kopf mithilfe von Software, Mikroprozessoren und elektronischen Schaltungen nachzubilden. «Neuromorphing» heisst diese Disziplin.

Das Gehirn auf einem Chip

Einer ihrer Vertreter ist Tobias Delbrück. Der Titularprofessor entwickelt am Institut für Neuroinformatik der ETH und Universität Zürich optische Sensoren, die nicht wie eine normale Videokamera, sondern ähnlich wie die Netzhaut des Auges funktionieren. Dazu hat er auf einen gängigen Siliziumchip eine elektronische Schaltung gebaut, deren Pixel sich wie Sehzellen verhalten.

Im Institut des Physikers liegen kreatives Chaos und Gemütlichkeit eng beieinander: Neben unzähligen Kabeln, Steckern, Platinen sowie Computerbildschirmen, auf denen der Besucher das Feuerwerk der Nervenzellen verfolgen kann, laden eine Couch-Landschaft nebst Teeküche zum Verweilen ein. Hier, zwischen Sofakissen und Roibuschtee, berichtet Tobias Delbrück von seinen Visionen des Computing der Zukunft.

«Alle sind damit beschäftigt, ein magisches neues Bauteil zu entwickeln, das traditionelle Transistoren, also das Grundbauelement aller Chips, ersetzen soll.» Dabei seien nicht die Transistoren veraltet, sondern die Art ihrer Organisation. «Warum also bauen wir nicht einfach solche, die ähnlich wie unser Gehirn arbeiten?»

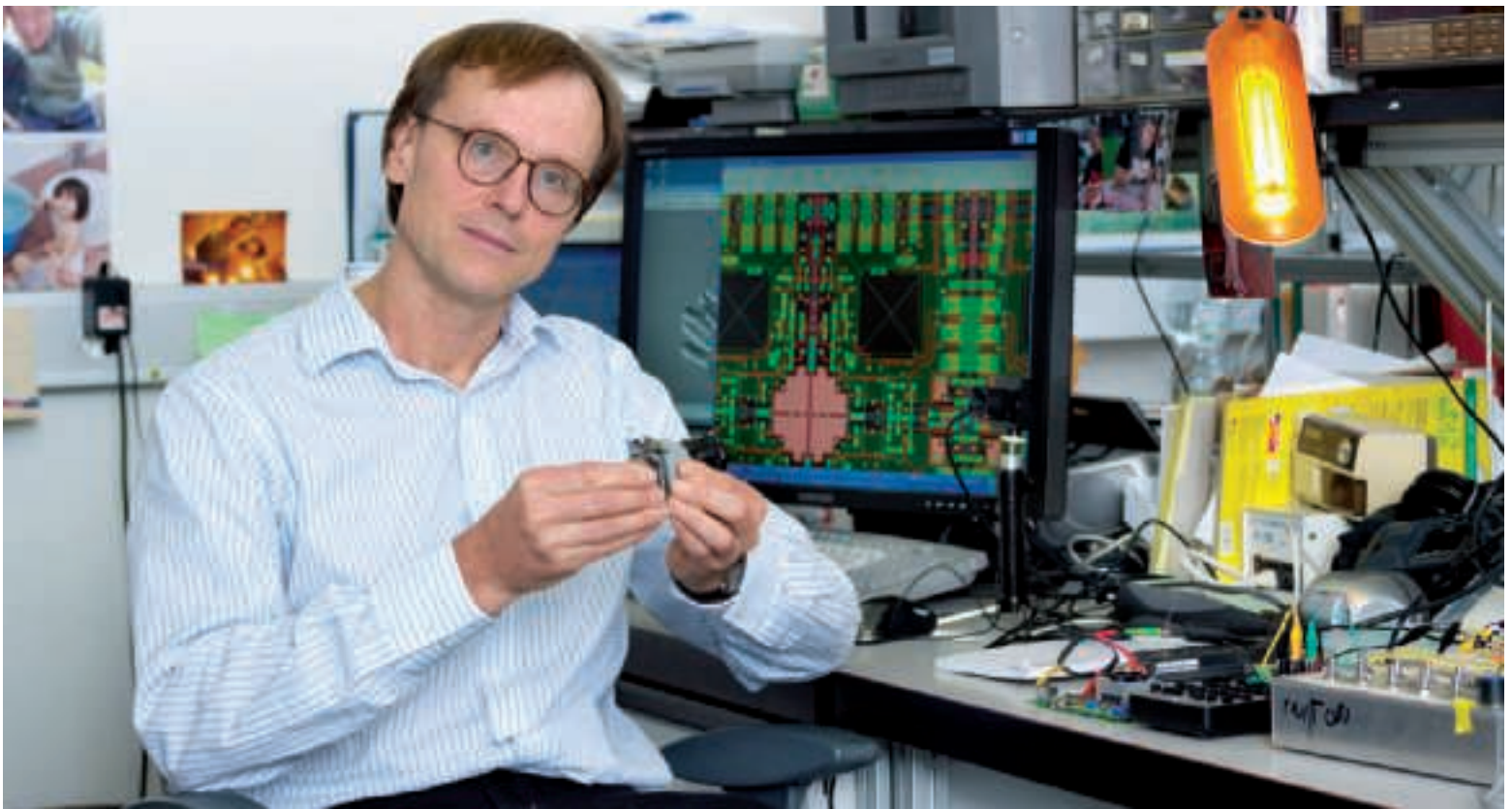
Aber was heisst «ähnlich wie unser Gehirn»? Was macht unser Denkorgan mit seinen 100 Milliarden Neuronen, die mit jeweils bis zu 10 000 Synapsen verschaltet sind, zum Vorbild für künftige Computer? Zum einen der geringe Energieverbrauch: Das Gehirn benötigt für seine enorme analoge Rechenleistung gerade einmal rund 20 Watt – so viel wie eine Kühlstrahlampe. «Auf der Systemebene ist das Gehirn eine Million Mal energieeffizienter als jeder Computer», sagt Tobias Delbrück. Wollte man einen Roboter bauen mit einem Prozessor, so leistungsstark wie das menschliche Hirn, würde dies folglich eine Leistung von bis zu 20 Millionen Watt erfordern – so viel wie die einer kleinen Wasserkraftanlage. Darüber hinaus besticht das Gehirn durch seine Fähigkeit, Rechenoperationen parallel abwickeln zu können, anstatt, wie der Computer, eine Aufgabe nach der anderen zu lösen. Das Hirn kann selbst dann noch leistungsfähig arbeiten, wenn es beschädigt ist, kann Muster erkennen, lernen und Erfahrungen sammeln sowie flexibel auf unerwartete, neue Situationen reagieren – Aufgaben, an denen Computer regelmässig scheitern.

Vor allem die Begabung des Gehirns, aus einer Fülle von Informationen nur die wesentlichen herauszufiltern, macht es als Vorbild für Tobias Delbrücks «Silizium-Auge» so interessant. Denn im Gegensatz zu den Pixeln einer normalen Kamera reagieren die Sehzellen-Schaltungen des «Dynamic Vision Sensor» nur dann, wenn sich zum Beispiel die Helligkeit verändert oder markante Punkte in einer Umgebung auftauchen. Der Sensor muss daher

nicht wie ein Computer den Wert aller Pixel in einem vorgegebenen Takt nacheinander abarbeiten, sondern nur die wirklich wichtigen Informationen, die zum Beispiel sehbehinderte Menschen brauchen, um sich zu orientieren. Oder die ein Frühwarnsystem im Auto benötigt, um rechtzeitig Alarm schlagen zu können. Das spart Energie und beschleunigt den künstlichen Sehvorgang, wie Versuche mit Robotern zeigten. Zurzeit arbeitet Tobias Delbrücks künstliche Netzhaut mit 32 000 Sehzellen. Auf einem neuen Chip sollen demnächst 152 000 Zellen Platz finden.

Zwar wird der «Dynamic Vision Sensor» schon von einem österreichischen Partner-Unternehmen der ETH Zürich genutzt, um damit beispielsweise Verkehrsanalysen durchzuführen, doch ist dies erst der Anfang von dem, was Gehirnbauern in puncto Computing der Zukunft vorschwebt. Um ihre Visionen verwirklichen zu können, müssen sie allerdings erst einmal das Funktionsprinzip des Gehirns verstanden haben. Wie gelingt es unserer Denkmaschine überhaupt, die Milliarden individueller Computereinheiten zu einem lernfähigen Verbund von Nervenzellen zu verschalten? Und wie könnte man mit dieser Erkenntnis eine Maschine erschaffen, die sich wie das Gehirn eigenständig konstruiert und ein erwünschtes Verhalten zeigt? Etwa einen Roboter, der Gebäude reinigt. Der allein auf der Basis sich selbst organisierender, künstlicher neuronaler Netze läuft und nicht mit Hilfe eines vorgegebenen Programms. Diesen Fragen gehen zum Beispiel Delbrücks Kollegen am Institut für Neuroinformatik, Kevan Martin und Rodney Douglas, im Rahmen des EU-Projektes SECO (für «Self Construction») nach. Dabei untersuchen sie unter anderem die Mechanismen, mit denen sich der Neocortex, ein Teil der Grosshirnrinde, selbst konstruiert.

«Ich bin mir ziemlich sicher, dass wir bis 2020 ein synthetisches Modell des menschlichen Gehirns nach den gegenwärtigen Modellvor-



Der «Dynamic Vision Sensor», den Tobias Delbrück in der Hand hält, funktioniert nicht wie eine normale Videokamera, sondern ähnlich wie die Netzhaut des Auges. Dazu hat er auf einen gängigen Siliziumchip eine elektronische Schaltung gebaut, deren Pixel sich wie Sehzellen verhalten.

stellungen gebaut haben», ist Karlheinz Meier überzeugt. Der Professor für Experimentalphysik koordiniert am Heidelberger Kirchhoff-Institut für Physik das EU-Projekt FACETS, in dem Wissenschaftler aus 15 Institutionen in sieben Ländern zusammenarbeiten. Ihr Ziel ist es, ein synthetisches elektronisches System zu entwickeln, das wie das menschliche Gehirn funktioniert. Dabei profitieren die Forscher auch von den neuesten Erkenntnissen des Projekts «Blue Brain» an der EPF Lausanne. Dort wächst seit 2005 auf einem Supercomputer ein Kunsthirn, eine so genannte kortikale Kolumne, heran, die Zelle für Zelle einem lebendigen Gehirn nachgebildet wird.

Die dort gewonnenen Resultate fliessen in die Konstruktion der Gehirn-Chips ein. Noch wisse zwar niemand, so Meier, was ein solches künstliches elektronisches System einmal leisten könne. Eine spannende, völlig neue Option, neben den klassischen Anwendungen wie künstliches Sehen, Hören und Fühlen, sei zum Beispiel ein Neurosensor, der Wirtschaftsdaten interpretieren und vorhersagen könne. Doch um das komplette Zellgeflecht mit seinen synaptischen Verbindungen auf Computerchips platzieren zu können, bedarf es neuer Technologien. Etwa eines Memristors, das ist ein Bauelement aus der Nanoelektronik, mit dem sich lokale synaptische Speicher realisieren lassen. «Mit den gängigen Transistoren

schaffen wir es höchstens bis zum Rattenhirn», sagt Karlheinz Meier. Das wäre gerade mal ein Hundertstel der menschlichen Schaltzentrale. Bis heute haben es Meier und sein Team auf 384 künstliche Nervenzellen und 100 000 Synapsen gebracht, die auf einem konventionellen, fünf mal fünf Millimeter grossen Chip miteinander kommunizieren – und zwar 100 000 Mal schneller als ihre natürlichen Vorbilder. «Wir können einen Tag Informationsverarbeitung im Gehirn in nur einer Sekunde simulieren.» In Kürze wollen die FACETS-Forscher ihre neueste Entwicklung präsentieren: Auf einer 20 Zentimeter grossen Siliziumscheibe werden dann 200 000 Neuronen mit 50 Millionen Synapsen kommunizieren.

Die Rechenpower der Moleküle

Mindestens ebenso kühn wie der Ansatz, das Gehirn in Computerchips zu giessen, ist der Versuch, sich die Rechenpower der Erbsubstanz zunutze zu machen: Moleküle statt Silizium; Wetware statt Hardware. Die Erkenntnis, dass sich mit Molekülen rechnen lässt, ist noch relativ jung. Erst Anfang der 1990er Jahre demonstrierte der amerikanische Computerwissenschaftler Leonard Adleman im Reagenzglas, wie sich mit Hilfe von Genbausteinen alle notwendigen Rechenoperationen durchführen lassen. So löste er mit programmierten DNS-Abschnitten innerhalb von

Sekunden ein mathematisches Problem, für das herkömmliche Rechner Tage oder Jahre brauchen. Dazu nutzte er die Eigenschaft der vier Basen der DNS, sich immer in Paaren zusammenzuschliessen.

Vor allem die Fähigkeit der Erbmoleküle, massiv parallel rechnen zu können, macht sie für künftige Computer interessant: Für eine Milliarde Operationen brauchen die biologischen Nanocomputer gerade mal eine Sekunde, verbrauchen dabei nur ein Milliardstel Watt Energie und rechnen dennoch mit einer Genauigkeit von fast 100 Prozent. Hinzu kommt, dass die Zwergenrechner derart winzig sind, dass eine Billion von ihnen in einem Wassertropfen Platz finden.

Insbesondere in der synthetischen Biologie und der Medizin sehen viele die Zukunft der Nanorechner. Auch die ETH Zürich verstärkt künftig ihre Forschung in diese Richtung und rekrutierte jüngst den Harvard-Systembiologen Yaakov Benenson – neben Ehud Shapiro vom israelischen Weizmann-Institut einer der Pioniere auf dem Gebiet der Konstruktion von molekularen Computern sowie der Entwicklung von künstlichen Systemen für neuartige Therapieansätze.

So gelang es Benenson unter anderem, einen DNS-Computer zu bauen, der Krebszellen anhand von vier Molekülen identifizieren und Medikamente zu deren Vernichtung frei- >

«Wir übernehmen quasi die Rolle des Schicksals, indem wir die Evolution in eine bestimmte Richtung lenken.» Eckart Zitzler

setzen kann. Bis diese Methode jedoch in menschlichen Zellen funktioniert, ist es noch ein weiter Weg.

Per Evolution zum Optimum

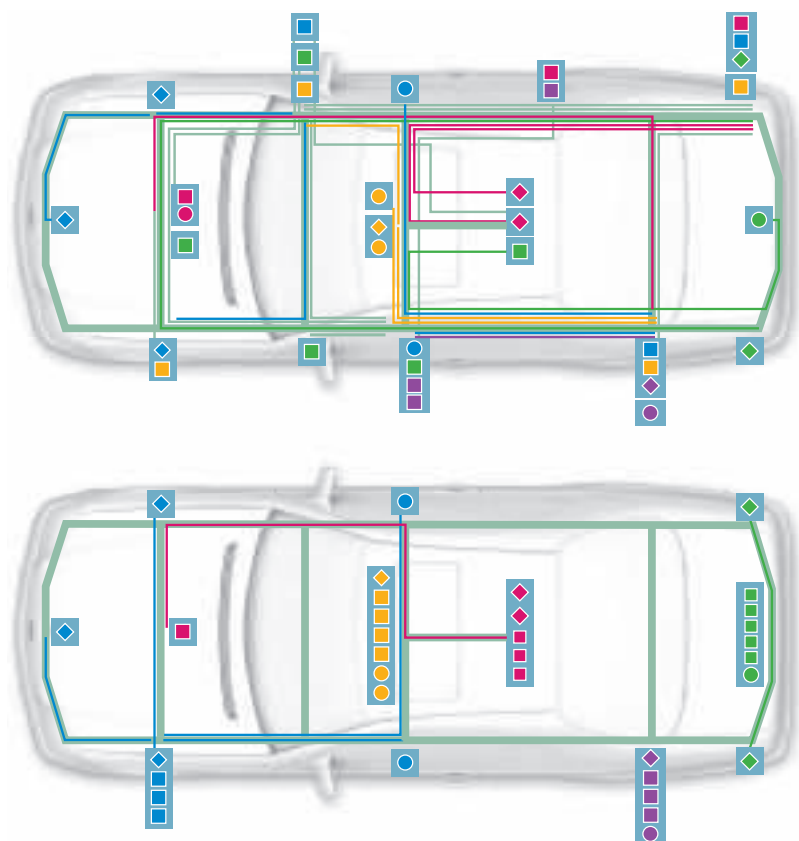
Dagegen kann Eckart Zitzler bereits mit handfesten Ergebnissen aufwarten. Der von ihm verfolgte Ansatz, die Natur für Rechenoperationen zu nutzen, hat sich bereits in der Praxis bewährt. Der Assistenzprofessor für Systemoptimierung am Departement für Informatikstechnologie und Elektrotechnik der ETH Zürich arbeitet mit Evolutionären Algorithmen. Das sind Optimierungsverfahren, die vor allem bei komplizierten technischen Kon-

struktionsproblemen angewandt werden und nach dem Vorbild der biologischen Evolution arbeiten. «Wir übernehmen quasi die Rolle des Schicksals, indem wir die Evolution in eine bestimmte Richtung lenken», sagt Eckart Zitzler. Nämlich hin zum Optimum.

Das sucht zum Beispiel auch die Robert Bosch GmbH. Ingenieure des deutschen Unternehmens traten mit einem besonderen Anliegen an den Zürcher Computerwissenschaftler heran: Wie lassen sich die häufig über 100 Kilogramm Kupferkabel nebst den damit verbundenen elektrischen und elektronischen Bauteilen (E/E-Komponenten) am effizientesten in einem Auto verteilen? Wo-

hin mit Airbag-, Bremssteuergerät und Co.? Welche Komponenten können wie miteinander zu einer Steuereinheit verbunden werden, damit Kabel eingespart werden können und das Gesamtsystem nicht zu teuer und zu kompliziert wird, aber dennoch zuverlässig arbeitet?

Eckart Zitzler demonstriert den Lösungsweg an einer Tafel. Eine Achse steht für die Kosten, die andere für die Komplexität. Dazwischen zeichnet er jede Menge Punkte oder besser gesagt «Individuen» als potenzielle Lösungen. Jetzt kommt die Evolution ins Spiel. Gesucht werden die Varianten, die sich hinsichtlich der oben erwähnten Eigenschaf-



Wie lassen sich die Steuergeräte von Airbag, Bremsen und Co. am besten im Auto verteilen und mit Kabeln verbinden? Zum Beispiel muss die Airbag-Software aus den Daten der Beschleunigungssensoren berechnen, ob die Airbags ausgelöst werden sollen oder nicht. Ausgehend von einer zufälligen Verteilung (oben), generieren Eckart Zitzler und sein Team eine verbesserte Lösung, die sich dem Optimum nähert (unten) – nach dem Vorbild der biologischen Evolution.

- Airbag, berechnete Elemente
- ◆ Airbag, messende Elemente
- Airbag, ausführende Elemente
- Fahrdynamik, berechnete Elemente
- ◆ Fahrdynamik, messende Elemente
- Fahrdynamik, ausführende Elemente
- Regenerkennung, berechnete Elemente
- ◆ Regenerkennung, messende Elemente
- Regenerkennung, ausführende Elemente
- Einparkhilfe, berechnete Elemente
- ◆ Einparkhilfe, messende Elemente
- Einparkhilfe, ausführende Elemente
- Bordcomputer, berechnete Elemente
- ◆ Bordcomputer, messende Elemente
- Bordcomputer, ausführende Elemente
- Steuergerät
- Kabelkanal



Eckart Zitzler demonstriert an der Tafel, wie er nach dem Vorbild der biologischen Evolution optimale Kompromisse für komplexe technische Probleme errechnet. Wie in der Natur «überleben» immer nur die besten Lösungen – bis nur noch die übrig bleiben, die nicht mehr optimiert werden können.

ten als brauchbar erweisen, die also ihre Gene weitervererben dürfen. Und der Weg dahin führt wie in der Natur über Mutation, Rekombination und Selektion.

«Die DNS kodiert dabei sowohl die Gruppierung der E/E-Komponenten im Auto als auch deren Verbindung untereinander sowie die Orte, an denen sie platziert werden», erklärt Eckart Zitzler. Diese drei Informationen charakterisieren ein Individuum, also eine mögliche Lösung. Welche Erbanlagen sich letztlich durchsetzen, entscheide sich manchmal erst nach hundert oder gar tausend Generationen, also Durchläufen. Diese generieren Zitzler und sein Team mit Hilfe komplizierter stochastischer Suchverfahren, die es ermöglichen, die gefundenen Lösungen ständig zu verbessern. «Dadurch bewegt sich die Population allmählich in Richtung Optimum», sagt Zitzler, wischt den Grossteil der Punkte auf der Tafel weg und lässt nur einige wenige stehen. «Das ist die sogenannte Pareto-optimale Front.» Sie verbindet diejenigen Lösungen, die sich nicht mehr verbessern liessen – «die optimalen Kompromisse». Es gebe keine Varianten, die billiger und weniger komplex seien.

Von diesen Kompromissen können sich die Ingenieure bei Bosch künftig inspirieren lassen, um die für sie in jeder Hinsicht optimale Lösung zu finden. Einen ersten, einfachen Prototyp hat der Zürcher Optimierungs-Experte ge-

meinsam mit den Projektpartnern bei Bosch bereits fertig gestellt. Darin sind jedoch noch nicht alle Komponenten und Kriterien berücksichtigt. Spätestens in zwei Jahren soll dann die komplette Software zum Einsatz kommen.

Der Vorteil des Evolutionären Algorithmus, so Zitzler, sei vor allem, dass er sich vielfältig und flexibel einsetzen lasse und sich bereits als Optimierungsverfahren etabliert habe. Im Gegensatz dazu seien Ameisen- oder Schwarmalgorithmen noch relativ neue Spielarten. Dabei nutzen Forscher das Verhalten von Ameisen bei der Futtersuche oder die Art und Weise, wie sich beispielsweise Bienen-, Fisch- und Vogelschwärme organisieren, um neue Lösungen für wirtschaftliche und technische Probleme zu entwickeln. Etwa wenn es darum geht, Routen zu planen oder den kürzesten Weg der Datenübertragung in einem Computernetzwerk zu finden. Experten sprechen bei diesem Vorgehen auch von Schwarmintelligenz, da die Ergebnisse durch das Zusammenspiel von wenig intelligenten und damit leicht programmierbaren Einzelindividuen zustande kommen: Kein Akteur begreift das Ganze, es gibt keinen Anführer, aber jeder reagiert instinktiv richtig und leistet einen Beitrag zur Lösung.

Dieses Verhalten nutzen Ingenieure zum Beispiel auch, um Roboter zu entwickeln, die nach dem Vorbild von Tierschwärmen zu-

sammenarbeiten sollen – etwa indem sie als Drohnen in Gefahrenzonen ausschwärmen, um giftige Gase aufzuspüren, oder als Schwimmroboter auf dem Meer Ölteppiche absaugen.

Immer selbstständiger, immer intelligenter – immer menschlicher? Die Beispiele lassen nur erahnen, welche Experimentierfelder die Natur den Computerbauern von Morgen noch eröffnen wird. Lassen sich Rechner eines Tages perfekt mit der Kraft unserer Gedanken steuern? Werden die Computer der Zukunft tatsächlich nach menschlicher Denkart funktionieren? Womöglich sogar eine eigene Intelligenz aufweisen? In jedem Fall werde deren Architektur völlig anders sein als die jetziger Computer, ist Tobias Delbrück überzeugt. Wie diese aussehe? «Das kann zurzeit kein Mensch auch nur ansatzweise vorhersagen.» //

→ www.ini.uzh.ch/~tobi/

→ www.tik.ee.ethz.ch/~sop

→ <http://facets.kip.uni-heidelberg.de/index.html>

Von verschwindenden Computern und wachsenden Clustern

Wie stellt sich der General Manager von Microsoft Schweiz das Computing der Zukunft vor?
Peter Waser über den Wettlauf in den Informations- und Kommunikationstechnologien.

In keinem Forschungsgebiet sind die Innovationszyklen so schnell und bedeutsam wie in den Informations- und Kommunikationswissenschaften. Im letzten Jahrhundert haben die Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) die Art und Weise, wie wir denken, kommunizieren und interagieren, geradezu revolutioniert.

«Dinge, die reifen, verschwinden»

Mark Weiser, Friedmann Mattern und andere grosse Autoren haben es auf den Punkt gebracht: Die Evolution des Computings lässt die Computer verschwinden; aus unförmigen Rechnern werden smarte Alltagsgegenstände. Mit verschwinden ist nicht gemeint, dass Computer an Bedeutung verlieren. Im Gegenteil; sie werden allgegenwärtig. Bereits heute sind 90 Prozent der Computer in Systeme eingebettet, tauschen selbstständig Informationen aus und steuern intelligent eine Vielzahl von Prozessen. Weiterentwicklung und produktive Anwendung dieser Technologie eröffnen ein enormes Potenzial. So werden beispielsweise Joystick, Maus und Tastatur zunehmend durch intuitive und natürliche

«Bereits heute sind 90 Prozent der Computer in Systeme eingebettet, tauschen selbstständig Informationen aus und steuern intelligent eine Vielzahl von Prozessen.»

Steuerungsformen ersetzt (Stichwort «Natural User Interface»). Mit dem «Project Natal» hat Microsoft vor kurzem einen wesentlichen Schritt in diese Richtung gemacht. Bei «Natal» wird der Körper zum Eingabegerät; hochsensible Kameras und andere Sensoren erkennen Bewegungen und setzen sie mit spezialisierter Software in Computerbefehle um. Wobei «Entertainment» nur einen von unzähligen Anwendungsbereichen darstellt.

E-Readiness als zentraler Erfolgsfaktor

Kommen wir zu einem ganz anderen Bereich. Durch die schnelle Bewältigung der wachsenden Informationsflut erhöht ICT die Produktivität und Innovationskraft von Organisationen und schafft so einen nutzbaren Mehrwert. Die Schweiz hat schon lange erkannt, dass der richtige Einsatz von ICT Effizienzgewinne, Innovationsfähigkeit und damit Wettbewerbsvorteile bringt, welche massgeblich für den Erfolg des Denk- und Werkplatzes Schweiz verantwortlich sind. Die Schweiz belegt im internationalen Vergleich einen Spitzenplatz punkto ICT-Investitionen pro Kopf. Es gibt aber auch andere Zahlen. So zeigt eine EIU-Studie, dass die Schweiz in Bezug auf ihre E-Readiness im Begriff ist, ihre Spitzenposition zu verlieren. E-Readiness bezeichnet die Fähigkeit, In-

formationen zu verarbeiten und wirtschaftlich sowie sozial nutzbar zu machen. Zwischen 2007 und 2008 haben wir vier Plätze verloren und befinden uns nun an neunter Stelle. Meines Erachtens ist es für den rohstoffarmen Denkplatz Schweiz von zentraler Bedeutung, ICT-Investitionen so intelligent zu nutzen, dass sie direkt zu einer gesteigerten Produktivität und Innovationsfähigkeit führen.

Innovation-Cluster: mehr Synergie zwischen Forschung und Praxis

Aufgrund meiner Erfahrung unterscheide ich zwei Typen von Innovation: Zum einen Innovation, die von der Nachfrage ausgeht und somit mehrheitlich in der Privatwirtschaft stattfindet, und zum anderen Innovation, die durch wissenschaftliche Forschung entsteht und folglich von Fachhochschulen und Universitäten getrieben wird. Diese Betrachtungsweise ist stark vereinfacht, dennoch möchte ich an der Aussage festhalten: Forschung und Praxis sind noch weit davon entfernt, durch einen regen Wissenstransfer den grösstmöglichen Nutzen für die gesamte Volkswirtschaft zu ziehen. Um das zu ändern, sind Microsoft Schweiz, die ETH Zürich und die EPFL mit dem «Innovation Cluster for Embedded Software» eine neue Art der Zusammenarbeit eingegangen. Durch den kontinuierlichen Wissenstransfer zwischen Praxis und Forschung soll ein Mehrwert für alle Beteiligten entstehen. Der Cluster ist dann erfolgreich, wenn sich neben den Initianten auch weitere Industriepartner beteiligen und so in einem Verbund Einsichten und Resultate erzielt werden, die im Alleingang verwehrt bleiben.

ICT ermöglicht und steigert die Produktivität und Innovationsfähigkeit von Unternehmen. Sie erschliesst ein immenses Potenzial an neuen Märkten, neuen Lösungen sowie neuen Kunden und ist deshalb von zentraler Bedeutung für den gesamten Denk- und Werkplatz Schweiz. Ich bin überzeugt, dass die Schweiz beim Computing der Zukunft eine zentrale Rolle spielen wird; sei es als Anwenderin, aber auch als Entwicklungsstandort von innovativen Technologien. Um erfolgreich zu sein, müssen wir erkennen, dass ICT das Rückgrat unserer Volkswirtschaft ist und dass wir auch in Zukunft gezielt in Talente, Chancen und Perspektiven investieren müssen. //

Peter Waser ist General Manager der Microsoft Schweiz GmbH und in dieser Funktion seit Mai 2006 verantwortlich für die Leitung der Schweizer Niederlassung. Daneben engagiert sich Peter Waser unter anderem als Präsident der Stiftung Produktive Schweiz und im Steering Committee des Microsoft Innovation Cluster for Embedded Software (ICES).

→ www.microsoft.com/switzerland

→ www.innovationcluster.ch



Peter Waser, General Manager der Microsoft Schweiz GmbH, möchte Forschung und Praxis noch näher zusammenbringen.



Für die Astronomin Marcella Carollo eröffnen sich mit den Supercomputern völlig neue Möglichkeiten, die physikalischen Vorgänge in den Tiefen des Universum zu begreifen.

Mit Bits und Bytes ins Universum

Welchen Einfluss haben kommende Computergenerationen auf die Forschungsergebnisse von morgen? Das wissen am besten diejenigen, die fast täglich mit den neusten Rechnern arbeiten. Eine von ihnen ist Marcella Carollo, Professorin für Astrophysik an der ETH Zürich.

Ich bin Astronomin. Ich verdiene meinen Lebensunterhalt damit, das echte Universum mit echten Teleskopen von der Erde oder vom Welt- raum aus zu beobachten. Mein Auftrag: die Beobachtung von Galaxi- en wie unsere Milchstrasse – von nahe gelegenen bis hin zu jenen, deren Licht aus den entferntesten Winkeln des Alls zu uns strahlt –, um die physikalischen Vorgänge jenseits ihrer Entstehung und Ent- wicklung zu begreifen. Gleichwohl sind Hochleistungssimulationen zwangsläufig ein Teil meiner täglichen Arbeit, da sie ein Weg sind, das Universum in einer völlig komplementären Art und Weise zu experi- menten und Beobachtungen zu studieren. Ein Beispiel, bei dem Simu- lationen zu einem wirklichen Umdenken geführt haben, ist unser Verständnis über den Ursprung der grossräumigen Struktur des Uni- versums. Simulationen haben uns gezeigt, dass die Materievertei- lung im Universum aus zunächst kleinräumigen Dichtefluktuationen entstand, welche mit der Zeit anwuchsen.

Die Zukunft der Computersimulationen verspricht sogar noch aufre- gender zu werden, da wir gerade dabei sind, mit den neuesten Super- computern in das Petaflop-Zeitalter überzutreten. Das Durchbrechen der Petaflop-Schallmauer ist ein technologischer Triumph, der uns vor einigen Jahren noch wie ein Griff nach den Sternen erschien. Die Freude über diese Errungenschaft hängt womöglich mit dem Axiom zusam- men, dass wir immer nach mehr streben. Im Computerbereich bedeu- tet dies mehr Geschwindigkeit, mehr Rechenleistung, mehr Speicher, mehr von allem. Das ist aber nur ein Teil der Geschichte. Das Petaflop- Zeitalter wird uns beispiellose Möglichkeiten beschern, um giganti- sche Mengen an sehr detailreichen Daten zu generieren, zu analysieren und zu interpretieren. So können wir schon jetzt – und die Zukunft wird das noch beschleunigen – Experimente durchführen und Theorien mit einer Geschwindigkeit und einem Genauigkeitsgrad überprüfen, der völlig neue wissenschaftliche Dimensionen eröffnet. Bei der Geschwin- digkeit künftiger Computer wird es um mehr gehen, als lediglich mehr vom Gleichen «besser» zu bewältigen. Superrechner werden der wis- senschaftlichen Forschung neue, originelle und unkonventionelle Wege des Denkens eröffnen. Damit wird eine gänzlich andere Herangehens- weise an die Wissenschaft möglich. Durch zukünftige Supercomputer werden wir faktisch einen Qualitätssprung in der Art und Weise errei- chen, wie wir wissenschaftlich arbeiten.

Jahrhundertlang ging es in der Wissenschaft darum, überprüfbare Hy- pothesen zu formulieren und durch Beobachtungen und Experimente Daten zu sammeln, um unsere theoretischen Modelle über die Funkti- onsweise der Welt zu verifizieren oder zu widerlegen. Dieser wissen- schaftliche Ansatz, der unsere Methodik seit vielen Jahrhunderten prägt, wird nun auf erstaunliche Weise konzeptionell erweitert, womit der wissenschaftlichen Forschung neue Räume offenstehen. Mit der

weiter wachsenden Geschwindigkeit, mit der wir Simulationen durch- führen können, werden wir in die Lage versetzt, grundlegende Fragen nicht nur mithilfe von Hypothesen, Modellen, Datenerhebungen und der Überprüfung von Theorien anzugehen, sondern gewaltige Daten- mengen zu analysieren, ohne vorher eine Hypothese bezüglich dessen zu formulieren, was sie wohl enthalten mögen. Dieser radikal neue An- satz des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns, diese neue Möglich- keit, das Universum zu begreifen, wird bald schon mit den kommenden Generationen von Petaflop-Computern und den massiven Datenmen- gen, die sie zu verarbeiten vermögen, zum Standard erhoben werden. Supercomputer werden uns zunehmend in die Lage versetzen, nicht nur falsche Modelle auszusondern, sondern die Methode «Überprü- fung einer Modellhypothese anhand von Daten» überall dort zu umge- hen, wo sie in die Sackgasse führt. Um es in den Worten von Googles Forschungsdirektor Peter Norvig zu formulieren: «Die Theorie ist nicht zu einem Ende gekommen, sie expandiert in neue Formen.»

«Das Durchbrechen der Petaflop-Schallmauer ist ein technologischer Triumph, der uns vor einigen Jahren noch wie ein Griff nach den Sternen erschien.»

Ob damit auch Risiken verbunden sind, ist Ansichtssache. Ich persön- lich sehe hauptsächlich Herausforderungen und Chancen. Eine erheb- liche Herausforderung liegt darin, in einem angemessenen Zeitrah- men ähnlich gewaltige Fortschritte in der Programmierung zu machen, denn diese sind notwendig, um die bahnbrechenden Fort- schritte in der Hardware-Entwicklung voll und ganz ausschöpfen zu können. Eine noch grössere Herausforderung besteht darin, die ehr- geizigen Ziele der Software- und Hardware-Entwicklung in einem ver- nünftigen wirtschaftlichen und – mit Blick auf den Energiebedarf – auch nachhaltigen Rahmen zu realisieren. Aber die Chancen für die Wissenschaft sind immens. //

Marcella Carollo ist Professorin für Astrophysik im Departement Physik der ETH Zürich. Seit vielen Jahren ist sie in zahlreichen internationalen wissenschaftlichen und beratenden Gremien tätig. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt im Verständnis der Entstehung und Evolution von Galaxien und Strukturen im Universum, vom jungen Universum kurz nach dem Urknall bis heute.

→ www.phys.ethz.ch



Oberaargletscher und Oberaarsee.



Forscherteam bei der Entnahme von Sedimentkernen aus gefrorenen Bergseen.

Trügerische Idylle im Hochgebirge

Eine interdisziplinäre Studie von Schweizer Forschern zeigt: Gletscher speichern über die Atmosphäre eingetragene Umweltgifte und geben sie mit dem Schmelzwasser wieder frei. Der Peak der Schadstofffreisetzung ist noch nicht erreicht.

Inmitten der Landschaft des Grimselpasses mit seinen von vergangenen Gletschern glattgehobelten Felsen sticht das kalte Grün des Oberaarsees hervor, der vom Schmelzwasser des Oberaargletschers gespeist wird. Seine Farbe verdankt er dem durch fein gemahlenes Gestein getrübbten Schmelzwasser. Dieses transportiert jedoch auch Gifte, so genannte POPs, («persistent organic pollutants»), die längst verboten sind, aus dem Gletscher in den See. Zu diesem Schluss kam kürzlich die Studie eines Forscherteams der ETH Zürich, der Empa und der Eawag.

Durch Luftverfrachtung in die Gletscher

Dass in Fischen aus Bergseen erhöhte Werte dieser schwer abbaubaren organischen Umweltgifte wie etwa Pestizide oder Dioxin festgestellt wurden, machte Christian Bogdal, Postdoc an der ETH Zürich, hellhörig. Er vermutete, dass

Gletscher diese Chemikalien gespeichert haben, nachdem sie über die Luftströmung aus den urbanen Zentren antransportiert und auf den Gletschern abgelagert wurden. Bogdal gehört zur Gruppe von Professor Konrad Hungerbühler vom Institut für Chemie- und Bioingenieurwissenschaften an der ETH Zürich, die sich mit Flüssen und Massenbilanzen von chemischen Stoffen beschäftigt und einen nachhaltigen Lebenszyklus von Chemikalien anstrebt.

Um ihre Theorie zu bestätigen, bohrte das Forscherteam im Winter 2006 Sedimentkerne aus dem zugefrorenen Oberaarsee. Denn so wie einst der «Ötzi» vom abschmelzenden Gletscher freigegeben wurde, können auch die vom Gletscher aufgenommenen Gifte vom Schmelzwasser wieder ausgespült werden, sich mit den Partikeln auf dem Seegrund absetzen und im Sediment anreichern. Dass die Schichten der Seesedimente wie Jahres-

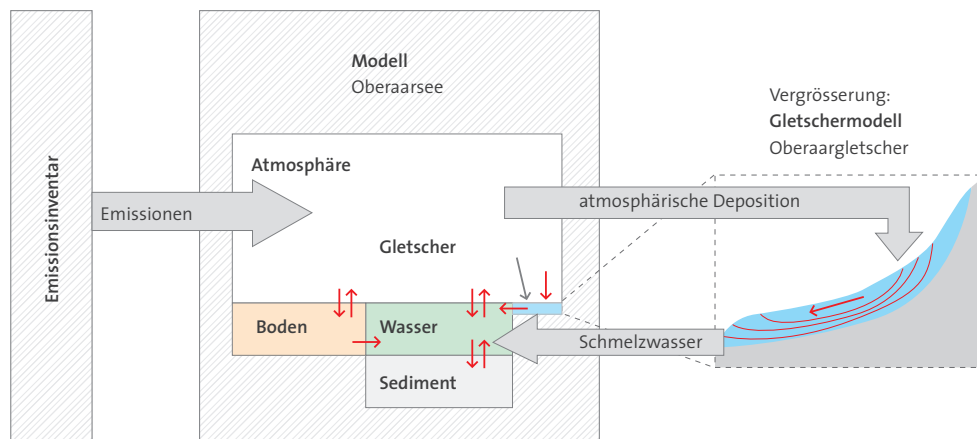
ringe von Bäumen zu lesen sind, ermöglichte den Wissenschaftlern, die Sedimentationsgeschichte der POPs über die letzten Jahrzehnte zu rekonstruieren. Die Analysen korrelieren laut den Forschern mit der «Geschichte» der POPs: Während ihres Produktionshochs und ihrer ungehinderten Freisetzung von Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts bis in die siebziger Jahre akkumulierten sie im Sediment und im Eis, analog zu den Emissionen.

Unerwarteter Peak Ende der 90er

Spannend und die Gletscher-Theorie stützend ist die Tatsache, dass seit Ende der 90er Jahre die Sedimente wieder die Spitzenwerte von zwischen 1960 und 1970 erreichen. «Damit können wir zeigen, dass Gletscher, neben den bestehenden primären Quellen, heute eine sekundäre Quelle für POPs sind», sagt Hungerbühler. Um die zeitlichen und mechanischen Abläufe des

Modellkombination zur Berechnung der Stoffflüsse im Oberaargebiet.

Schadstofftransports dieser sekundären Quelle abbilden und verfolgen zu können, haben die Forscher nun eine neue Methode entwickelt. «Durch die Kombination von drei Modellen, in denen wir die historischen Emissionen der Schadstoffe, deren Verteilung im Oberaargebiet und das Fließverhalten des Gletschers berücksichtigten, konnten wir erstmals berechnen, wie lange die Schadstoffe im Gletscher verbleiben und wie viel der Gletscher abgibt», sagt Bogdal. Demnach gibt der Oberaargletscher die POPs mit einer Zeitverzögerung von etwa 50 Jahren wieder frei, weshalb die «Sünden» von vor 50 Jahren heute erneut im Sediment erscheinen. Pro Jahr würden auf diese Weise derzeit etwa 10 Gramm PCBs, eine bestimmte Gruppe von POPs, im Sediment eingelagert. Dies entspricht den früheren Spitzenwerten, sei jedoch laut den Forschern im Vergleich zu den heute noch existierenden primären Quellen wenig. Beispielsweise würde die Stadt Zürich pro Jahr etwa 600 Kilogramm PCBs emittieren.



Dass der Gletscher so viel kleinere Mengen in sich birgt, liegt an der vergleichsweise kleinen Fläche, auf der sich die POPs abgelagert, und daran, dass mehr als 90 Prozent der emittierten POPs mit der Luft aus der Schweiz hinaus transportiert werden. Neu an den Resultaten ist, so die Forscher, dass durch die verstärkte Gletscherschmelze auf Grund des Klimawandels drei bis vier Mal so viele POPs freigesetzt werden wie zuvor. Die Ergebnisse der Studie lassen zudem vermuten, dass der Peak des Schadstoffeintrags noch nicht erreicht ist. Da die komplexen und bisher wenig bekannten

Umweltprozesse in glazialen Umgebungen noch viele Fragen aufwerfen, ist die Forschung auf diesem Gebiet für die Wissenschaftler noch nicht abgeschlossen. Dem Schweizerischen Nationalfonds liegt deshalb bereits ein Forschungsgesuch vor. In Zukunft soll die Gletscherdynamik besser berücksichtigt werden, wofür das Team bereits die Unterstützung der Glaziologen, ChemikerInnen und Sedimentologen der ETH Zürich, der Empa, der Eawag und des PSI hat. //

Simone Ulmer

ETH Zürich eröffnet Klimablog

Nahezu täglich gibt es neue wissenschaftliche Erkenntnisse zum Klimawandel. Damit dieses Wissen seinen Weg in die Gesellschaft findet, werden ETH-Wissenschaftler in Zukunft nicht nur forschen, sondern auch bloggen. Im November startete die ETH Zürich ihren Klimablog.

Der ETH-Klimablog will die aktuelle Debatte zum Klimawandel aufnehmen und einer breiten Öffentlichkeit vermitteln. Zwanzig ETH-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler konnten für die Idee begeistert werden und stehen als Autoren des Klimablogs bereit. Sei es Klimaentwicklung, Umweltauswirkungen, Energie und Mobilität, Städtebau, Landwirtschaft und Ernährung – die Wissenschaftsblogger kommentieren aktuelle Entwicklungen aus ihrer Sicht. Klima-News und Hintergrundinfos ergänzen das redaktionelle Angebot.

Die ETH Zürich als Honest Broker

«Um den menschengemachten Klimawandel zeitgerecht eindämmen zu können, sind ausser mehr Forschung und innovativen Technologien auch Strategien für die Umsetzung des erarbeiteten Wissens nötig», begründet ETH-

Präsident Ralph Eichler den Schritt in die Bloggewelt. «Wir wollen so die Klimaforschung der ETH Zürich nach aussen tragen und den Dialog mit der Öffentlichkeit verstärken.» Die ETH sei prädestiniert, in Fragen des Klimawandels die Rolle des Honest Brokers zu übernehmen, indem sie mit ihren wissenschaftlichen Ergebnissen den technologischen, wirtschaftlichen und politischen Handlungsspielraum abstecke. «Als neutrale Vermittler geben wir nicht die Politik vor, sondern wir zeigen auf, welche Optionen mit welchen Konsequenzen und Unsicherheiten verbunden sind», erläutert Beat Gerber, Redaktionsleiter des Klimablogs, diese Position.

Debatten erwünscht

Die ETH Zürich will die Debatte nicht nur aus akademischer Sicht führen. Eingeladen sind auch Beiträge aus Politik, Wirtschaft, Kultur

und Gesellschaft. Mehr als ein Dutzend Gast-Bloggerinnen und -Blogger äussern sich zu Klimathemen aus ihrem Umfeld. Dazu gehören beispielsweise der Nationalrat der Grünen, Bastien Girod, ebenso wie der Direktor des wirtschaftsnahen Thinktanks Avenir Suisse, Thomas Held. Das Publikum ist ausdrücklich aufgefordert, seine Kommentare zu den Beiträgen einzubringen. «Der ETH-Klimablog ist grundsätzlich offen für alle Beiträge und Kommentare, die im Zusammenhang mit der Thematik des Klimawandels interessant sind», erläutert Beat Gerber die redaktionelle Strategie des Kommunikationsexperiments. Wegleitend sei bei Kontroversen der Grundsatz der fairen, ausgewogenen Diskussion. //

Martina Märki

→ www.klimablog.ethz.ch

Ein Philosoph nähert sich dem Glück

Michael Hampe, Professor für Philosophie an der ETH Zürich, setzt philosophische Widerhaken. In seinem neuesten Werk zweifelt er an der technischen Machbarkeit des Glücks.

Um die Lage seines Büros könnte man ihn beneiden: nebenan das Schauspielhaus, schräg gegenüber das Kunsthaus, Zürichsee und Hochschulquartier beide nur einen Spaziergang entfernt. Pragmatisch ist die Büroeinrichtung, die sich kaum von der eines anderen ETH-Professors unterscheidet. Zum Philosophieren laden in der eher nüchternen Umgebung der genormten Bundesmöbel ein zerschlissener Ledersessel und ein Stehpult ein. Daneben behauptet sich ein Kaktus als einzige Zimmerpflanze.

«Es ist schon merkwürdig, dass hier philosophiert wird», bemerkt Michael Hampe, «wenn man bedenkt, dass dies früher eine Bank war.» Etwas daran scheint ihm zu gefallen, ohne dass er es näher ausführt. Hampe begnügt sich mit der leisen Irritation, die der Gedanke auslöst, und einem Lächeln. Dabei könnte es für einen wie ihn durchaus ein Grund zum Triumphieren sein, wenn dort, wo früher das Geld verwaltet wurde, nun der philosophische Geist wirkt. Denn tatsächlich ist Hampe der Meinung, dass heute der Philosophie, der Kunst und der Literatur im Vergleich zu anderen Welterklärungsmodellen zu wenig Beachtung geschenkt wird, wie er später im Gespräch sagen wird.

Auf die Welt reagieren

Doch das laute Triumphieren ist seine Sache nicht. Das sanfte Irritieren schon eher, indem er auf das, was er vorfindet, reagiert und ihm den philosophischen Spiegel vorhält – höflich, unaufdringlich, aber nachhaltig. Philosophieren in sokratischer Tradition nennt es Hampe. «Philosophie hat ja von Anfang an etwas Reaktives gehabt. Wenn Sokrates durch die Strassen der Stadt Athen wandert und die jungen Adligen, also die zukünftigen Verantwortungsträger, fragt, was in ihren Augen das Gute ist, dann stellt er ihr Selbstverständnis in Frage», erläutert er. In gewisser Hinsicht sei die ganze sokratische Philosophietradition ein Unternehmen, das auf politische, soziale, kulturelle oder wissenschaftliche Weltentwürfe kritisch antwortet.

Das ist es, was ihn an der Philosophie reizt und was ihn an die ETH geführt hat. Hampe möchte auf das, was die Welt bewegt, reagieren. Eine Philosophie, die nur für Philosophen stattfindet, konnte ihn dagegen nicht lange fesseln: «Wichtig ist mir die Anregung durch reale Probleme, und dafür ist eine technische Hochschule ein ideales Umfeld. Schliesslich ist der wissenschaftlich-technische Ansatz eine treibende Kraft unserer Gegenwart.» Hampe reagiert darauf, indem er beispielsweise mit der Aussenperspektive der Philosophie auf die Geschichtlichkeit und damit auf die Relativität wissenschaftlicher Erkenntnis hinweist. Die Aussenperspektive sei auch für angehende Ingenieurinnen und Ingenieure wichtig. «Sobald man das Labor verlässt, wird die Aussenperspektive entscheidend. Wozu brauchen wir eine neue Technologie? Welche Folgen hat sie? Wie sicher ist sie? Diese Fragen werden gestellt», sagt Hampe. Eines seiner an der ETH entstandenen Werke ist folgerichtig dem Thema Risikogewidmet.

Vom Glück der Differenz

Auch in anderer Hinsicht ist die ETH für Hampe ein Umfeld, das ihm liegt. Der Junge, der ursprünglich eher von den Naturwissenschaften fasziniert war und einmal Tiermediziner oder Physiologe werden wollte, kommt hier wieder zu seinem Recht. «Philosoph bin ich eigentlich eher aus Zufall geworden und weil ich als Biologe im Labor festgestellt habe, dass ich experimentell und handwerklich nicht so geschickt war, wie ich gerne sein wollte», beschreibt Hampe seinen Werdegang. Man weiss nicht so recht, ob man ihm das glauben soll. Der Blick des Besuchers wandert zweifelnd zum Kaktus in der Fensternische, als könnte der etwas über die handwerklichen Fähigkeiten seines Besitzers aussagen. «Ich bin leider auch kein Gärtner», fügt Hampe lächelnd an. Dabei hat er in der romanesken Rahmenhandlung seines neuesten Buches «Das vollkommene Leben. Vier

Meditationen über das Glück» ausgerechnet einen philosophischen Dropout, der zum Gärtner wird, zur Utopie eines geglückten Lebensentwurfs gemacht. Der Berufsphilosoph hingegen, einsamer Betreuer eines philosophischen Essaywettbewerbs über das Glück, stürzt am Ende des Buches über eine Bergklippe zu Tode.

Dazwischen falten vier Essays fiktiver Wettbewerbsteilnehmer unterschiedliche Perspektiven des Glücksverständnisses auf. Am meisten Platz räumt Hampe der Perspektive des Physikers ein, der die Technik und den Fortschritt als die eigentlichen Schrittmacher des Glücks sieht. Es folgen Beiträge einer jungen Philosophin aus religiös-esoterischer Perspektive, eines radikalen Skeptikers in Gestalt eines Psychoanalytikers und eine soziologisch gefärbte Darstellung zu den Bedingungen menschlichen Glücks. Insgesamt ein vielstimmiges Panorama von Glück und Unglück. Hampe selbst enthält sich jeder explizit wertenden Stellungnahme. Er überlässt das Fazit bezeichnenderweise seinem utopischen Alter Ego, dem Gärtner und Hausmeister der philosophischen Gesellschaft, in deren Namen der Essaywettbewerb stattfinden sollte: «Die Anerkennung der individuellen Verschiedenheit des Lebens, der Erfahrungen und des Denkens ist zu Recht als Voraussetzung des menschlichen Glücks angesehen worden.»

Technik und Praxis des Glücks

Warum philosophiert jemand ausgerechnet an einer technischen Hochschule über das Glück? Für den Philosophen ist dies naheliegender. «Wir leben hier in einer Kultur, in der man vom Glauben an die Machbarkeit und die technische Lösbarkeit von Problemen geprägt ist.» Den gleichen Glauben durchziehe die heutige, geradezu uferlose Ratgeberliteratur zum Thema Glück. «Diese Ratgeber gehen alle ganz unreflektiert davon aus, dass das Streben nach Glück technisch bewältigbar ist. Man



Michael Hampes Stehpult steht vielleicht nicht zufällig neben einem Kaktus: «Die Vorstellung, stets übereinstimmen zu müssen, Differenzen unbedingt aus der Welt schaffen zu wollen, verursacht viel Unglück», gibt der Philosoph zu bedenken.

muss etwa bestimmte psychologische und soziale Techniken beherrschen, dann klappt es schon.» Dass es ausserhalb der Ingenieurs-technik ein ganzes Arsenal von Techniken gibt, mit dem Ziel, das Glück als machbar zu begreifen, so dass man eine technische Einstellung zum eigenen Leben bekommt, irritiert und fasziniert ihn zugleich. «Wenn Sie an die Machbarkeit des Glücks glauben, dann sind Sie relativ schnell bei dem Schluss, dass es dann auch Experten für das Glück geben muss.» Die aktuelle Expertenliteratur der Machbarkeit über das Glück verdränge jedoch andere Stimmen wie die schöne Literatur und die philosophische Literatur. Dabei findet Hampe: «Wenn man Eheprobleme hat, kann man entweder einen Beziehungsratgeber lesen oder ‹Stiller› von Max Frisch.»

Da ist er wieder, dieser leise subversive Ton, der sich ganz unauffällig durch das Gespräch zieht. «Ich habe meine Zweifel, ob die technische Einstellung der Lebenshilfeexperten wirklich die richtige ist», bestätigt Hampe. «Ich möchte den Studierenden an der ETH den Gedanken der Praxis, wie Aristoteles sie versteht, nahebringen.» Was bedeutet: Man kann einerseits et-

was tun, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, dann denkt man über die Mittel nach, die man braucht, um ans Ziel zu kommen. Das nennt Aristoteles Technik. Wenn wir dagegen Flöte spielen oder Sport treiben oder über etwas nachdenken und dabei ganz auf das Tun konzentriert sind, weil es uns Freude bereitet, dann verfolgen wir nach Aristoteles eine Praxis.

Glückliche Ingenieure

Liegt das Glück also einfach in der Praxis? Fast muss der Philosoph lachen: «Einfach ist da leider nichts!» In einer seiner Vorlesungen ging es um die Frage, ob man diese beiden Handlungsweisen tatsächlich scharf voneinander unterscheiden kann: «Wenn jemand Fenster putzt, würde man auf den ersten Blick sagen, das ist eine Technik, um Geld zu verdienen. Es kann aber auch sein, dass ihm das Fensterputzen Spass macht – das also wäre Praxis. Umgekehrt kann jemand Musik machen, nicht um ihrer selbst willen, sondern um als Virtuose reich und berühmt zu werden. Dann würde Aristoteles von einer Technik sprechen. Es ist nicht einfach, Technik und Praxis voneinander abzugrenzen, weil es im Grunde von der inneren

Einstellung abhängt, mit der man einer Tätigkeit nachgeht», erläutert Hampe. Immerhin, etwas Beruhigendes könne er seinen Studierenden sagen: Untersuchungen über die Zufriedenheit von Berufsgruppen zeigten regelmässig, dass Ingenieure zu den zufriedensten Berufsgruppen gehörten. Damit sei man einer Form des Glücks doch schon recht nahe. //

Martina Märki

Michael Hampe studierte Philosophie, Literaturwissenschaft, Psychologie und Biologie in Heidelberg und Cambridge. Seit 2003 ist er Professor für Philosophie an der ETH Zürich.

→ www.phil.ethz.ch

Publikationen aus dieser Zeit:

- Erkenntnis und Praxis – Studien zum Pragmatismus, 2006
- Die Macht des Zufalls. Vom Umgang mit dem Risiko, 2006
- Eine kleine Geschichte des Naturgesetzbegriffs, 2007
- Das vollkommene Leben. Vier Meditationen über das Glück, 2009

Anschub für den Überflieger

Nach nur sechs Monaten Entwicklungszeit hat Masterstudent Lorenz Meier mit seinem Hubschrauber einen prestigeträchtigen Wettbewerb gewonnen. Gefördert wird er vom «Excellence Scholarship Programme» der ETH Zürich und der ETH Zürich Foundation. Im Interview erzählt er, wie er mit Rückschlägen umgeht und was es heisst, Projektleiter von 14 Studierenden zu sein.



Lorenz Meier, Masterstudent an der ETH Zürich, realisiert mit Unterstützung des «Excellence Scholarship Programme» den Traum vom Fliegen auf seine Weise. Sein Flugroboter kann nicht nur selbstständig fliegen, sondern auch «sehen».

Wie kommt man eigentlich zum «Excellence Scholarship Programme»?

Ich habe mich mit einem Projektentwurf und Empfehlungen von meinen Professoren aus Konstanz und auch von meinem ETH-Professor Marc Pollefeys für das Stipendium beworben und eine Zusage bekommen. Mein Bachelorabschluss mit der Note «sehr gut» hat bestimmt geholfen.

Und was haben Sie jetzt davon?

Das Forschungsprojekt ist mit der Zeit sehr gewachsen und benötigt viel Zeit. Da erleichtert mir das Stipendium die Forschung, da ich nebenbei nicht für meinen Lebensunterhalt arbeiten muss.

Sie kommen ursprünglich aus Deutschland. Was hat Sie an die ETH geführt?

Seit dem Ende meines Bachelorstudiums an der Universität Konstanz interessiere ich mich für Micro-Aerial-Vehicles, MAV genannt. Dies

sind unbemannte Luftfahrzeuge, die von ferne gesteuert werden oder selbstständig navigieren. Ich habe nach Hochschulen gesucht, die in diesem Bereich forschen. So bin ich auf die ETH Zürich gestossen.

Mit dem Stipendium gehören Sie jetzt zu einer «exzellenten» Gruppe.

Ich gehe damit nicht hausieren und im Forschungsalltag spielt es auch keine grosse Rolle. Ich bin stolz darauf, das Stipendium bekommen zu haben. Auf den Wettbewerbsgewinn bin ich noch stolzer. Er ist eine tolle Bestätigung für das Vertrauen, das ich vorab nur aufgrund von Noten und Empfehlungsschreiben bekommen habe. Das «Excellence Scholarship Programme» hat mir jetzt schon Türen geöffnet und bringt mir bestimmt in meinem weiteren Lebenslauf noch Vorteile.

Was fasziniert Sie am Thema Flugrobotik?

Ich glaube, es ist der Traum vom Fliegen, aber auch, dass Flugroboter sich im dreidimensionalen Raum frei bewegen und daher wissenschaftlich sehr spannend sind. Ich finde es faszinierend, dass MAV mit ihren Kameras Einblicke gewähren und Blickwinkel zeigen, die sonst nicht sichtbar sind.

Liegt darin die wissenschaftliche Herausforderung?

Bei den aktuellen Systemen werden Bilder an Steuerungskonsolen übertragen, die per WLAN oder Kabel lediglich 30 bis 50 Meter weit geschickt werden können. Soll dies autonom funktionieren, so muss die gesamte Datenverarbeitung sehr schnell «on-board» erfolgen, da der Hubschrauber sich im dreidimensionalen Raum bewegt. Bestehende Systeme sind dazu aber nicht in der Lage, daher entwickeln wir die gesamte Software, den Rahmen und die Elektronik neu. Hinzu kommt, dass der Computer im Hubschrauber 17x58x4,2 Millimeter klein ist und nur sechs

Gramm wiegt. Dies ist eine zusätzliche Herausforderung.

Wie kann der Hubschrauber eingesetzt werden?

Nach einem Erdbeben könnte der Hubschrauber mit der Kamera in das betreffende Gebiet fliegen, wo er selbstständig alle Gebäude nach Menschen durchsucht. Für eine kommerzielle Nutzung ist der Markt aber im Moment zu klein. Es ist eher ein Forschungsprojekt. Wir haben auch keine Verbindung zum Militär, wo sonst MAV als Drohnen eingesetzt werden. Das Projekt wird nur vom Labor finanziert.

Flugdrohnen sind keine neue Erfindung. Was ist das Besondere an Ihrem Hubschrauber?

Die Stabilisierung erfolgt vollkommen elektronisch und die Kamera an Bord erkennt auch gelernte Objekte, wertet diese «on board» aus und nutzt sie zur weiteren Navigation. Die autonome Navigation wollen wir in diesem Semester umsetzen.

Lassen sich die Forschungsergebnisse auch woanders nutzen?

Ja, zum Beispiel in der zivilen Luftfahrt, da die entwickelten Programme auch auf grössere Flugzeuge übertragbar sind. Die Forschungsergebnisse im Bereich Bildverarbeitung lassen sich zum Beispiel auch im Automobilbereich für Fahrassistenzsysteme einsetzen.

Im September haben Sie einen Flugnavigation-Wettbewerb in Delft gewonnen. Zur Entwicklung hatten Sie nur sechs Monate Zeit. Gab es auch Rückschläge?

Wir haben Hardware verloren wegen Kurzschlüssen und die Software funktionierte nicht, wie wir uns das vorgestellt hatten. Man muss damit rechnen, dass man zwei Schritte vor und einen zurück geht. Zu meiner Überraschung haben wir gesehen, dass andere dasselbe Problem haben. Am Wettbewerb in

Holland war ein Team aus Korea. Deren Hubschrauber hat sich bei jedem Start auf den Kopf gedreht. Das war eine Enttäuschung, die ich nachfühlen konnte, nach so viel Arbeit. Unser System war robuster als von uns erwartet, und auch leistungsfähiger als das der Wettbewerber. Eine On-Board-Objekterkennung, wie sie unser Hubschrauber hat, konnte niemand zeigen – darauf sind wir stolz.

Das Forschungsteam besteht aus 14 Studierenden. Eine grosse Verantwortung mit 25 Jahren.

Sie lastet manchmal schwer, aber ich habe es immer genossen. Gerade wenn vor dem Wettbewerb Probleme auftauchen, könnte man auf die Idee kommen, sich abzumelden. Wenn ein Team dahintersteht und man ihm die Reise zum Wettbewerb nach Delft versprochen hat, dann fühle ich mich verpflichtet, das zum

Laufen zu bringen. Es war toll zu sehen, wie begeistert das Team sechs Monate lang hart gearbeitet und dann auch gewonnen hat.

Was treibt Sie als Wissenschaftler an?

Es ist wahnsinnig spannend, bereits im Masterstudium in die Forschung involviert zu sein. Ich bin schon sehr vom Projekt fasziniert und möchte auf jeden Fall Grenzen in diesem Bereich verschieben. Deshalb versuche ich die Latte auch hoch zu setzen, im Wissen, dass man scheitern kann. Doch scheitern kann auch, wer sich wenig vornimmt.

Möchten Sie auch in Zukunft forschen?

Dass kann ich mir gut vorstellen. Es ist nicht nur dieser eine Hubschrauber – es ist das Entdecken von Neuem, das Verschieben von Grenzen, das Lernen von neuen Ergebnissen von anderen Wissenschaftlern und dann der Ver-

such, noch einen Schritt weiter zu gehen. Im Moment ist das Geldverdienen nicht wichtig. Natürlich möchte ich später vernünftig verdienen, um damit auszukommen. Die Entwicklungsabteilung eines grossen Unternehmens würde mich auch reizen, um dort Dinge auszuprobieren. //

Interview: Thomas Langholz

Weitere Informationen:
Computer Vision and Geometry Lab
→ www.cvg.ethz.ch/

Projekt Pixhawk
→ <http://pixhawk.ethz.ch/wiki/start>

ETH Foundation
→ www.eth-foundation.ch/de



Der unbemannte Flugroboter hat sich bereits bewährt. Im September gewann er einen Flugnavigations-Wettbewerb in Delft.

«Excellence Scholarship and Opportunity Programme»

Die Schulleitung hat 2007 das Stipendien-Programm ins Leben gerufen. Ziel ist es, ausgezeichnete Studierende aus dem In- und Ausland für die Masterstufe anzuwerben und Nachwuchstalente für die Industrie auszubilden. Die Mittel für die Stipendien kommen von privater Seite: Die ETH Zürich Foundation will Partnerschaften mit Unternehmen und Stiftungen etablieren und Privatpersonen für Spenden gewinnen. Bewerber müssen neben sehr guten Leistungen im Bachelorstudium eine überzeugende Projektskizze für ein Forschungsprojekt einreichen. Im laufenden Auswahlverfahren stehen 30 Stipendien zur Verfügung. Künftig sollen rund 50 Stipendien pro Jahr vergeben werden.

→ www.rektorat.ethz.ch/students/finance/scholarship/excellence

Mit der ETH auf Du geblieben

Am Homecoming Day 2009 konnten sich die Alumni direkt vor Ort ein Bild über die heutige ETH Zürich machen. Gut 600 Ehemalige nutzten Mitte September die Gelegenheit, an diesem Anlass frühere Studienkolleginnen und -kollegen wiederzusehen.



Begegnung der Generationen: Ein Alumnus und ein Student diskutieren über den Hyb Alpha, ein Studenten-Rennauto mit Hybridmotor.

Als die ETH Alumni Vereinigung vor zwei Jahren den ersten Homecoming Day durchführte, nutzten überraschend viele Alumni die Gelegenheit, ihrer Alma Mater wieder einmal einen Besuch abzustatten. Dies war für die ETH Zürich Grund genug, im September erneut zu einem Homecoming Day in Science City zu laden. Erfreulich war, dass auch viele Alumni aus dem Ausland den Weg auf den Höggerberg fanden. Sogar aus New Hampshire, Moskau und Shanghai reisten Ehemalige an, um wieder einmal ETH-Luft zu schnuppern. Insgesamt fanden immerhin gut 600 Ehemalige den Weg zurück an die ETH Zürich und liessen sich aus erster Hand über neue Entwicklungen an der Hochschule ins Bild setzen. Während bei der ersten Ausgabe des Events vor zwei Jahren Besuche bei den verschiedenen Departementen auf dem Programm standen, wollte die ETH-Schulleitung dieses Jahr die Alumni gezielt und persönlich über sechs zentrale Themen der Hochschule informieren.

Angeregte Diskussionen

Im Rahmen der Alumni Conference wurden den Besucherinnen und Besuchern insgesamt sechs Forschungsschwerpunkte präsentiert, welche die Hochschule als besonders wichtig erachtet. Lino Guzzella, Christofer Hierold und Robert Riener führten zunächst in die Bereiche Energie, Nanotechnologie und Medizintechnik ein. Klaus Ensslin, Paul Embrechts sowie Gerhard Schmitt zeigten, welche Anstrengungen die ETH Zürich in den Bereichen Quantencomputing, Risk Management und Future Cities unternimmt. Nach jedem Vortrag diskutierte ein Gast aus der Praxis mit den ETH-Vertretern über das Thema, bevor dann das Publikum Gelegenheit erhielt, Fragen zu stellen. Moderiert wurden die Diskussionen jeweils von einem Mitglied der Schulleitung. Diese unterstrich durch ihre fast lückenlose Präsenz, welche Bedeutung das oberste Gremium der ETH diesem Anlass beimass.

Die anwesenden Alumni nutzten die Gelegenheit, den ETH-Professoren kritische Fragen zu

stellen. Dabei verschob sich der Fokus der Diskussionen schnell einmal hin zu allgemeinen Fragen. Die Entsorgung des radioaktiven Atom Mülls, die möglichen Gefahren der Nanotechnologie, die Kostenexplosion im Gesundheitswesen oder die ungenügende Bankenkontrolle waren Themen, welche angesprochen wurden. Immer wieder kam auch die Ausbildung der Studierenden zur Sprache und die Frage, wie das erarbeitete Wissen besser in die Praxis transferiert werden könnte. Deutlich zum Ausdruck kam dabei, dass vor allem mittlere und kleinere Unternehmen nach wie vor Mühe haben, einen direkten Zugang zur Hochschule zu finden.

Alumni als Partner der Hochschule

Dass die ETH Zürich ihre Zukunftspläne mit den Ehemaligen diskutiert, ist kein Zufall. Es gehört zum Selbstverständnis der Alumni Vereinigung, dass sie als Partner der Hochschule die Sichtweise der Praxis in die Hochschule einbringen will. Auch die ETH hat ein Interesse an einem solchen Dialog, möchte die Hochschule doch vermehrt auf das Wissen der Praxis zurückgreifen, um gesellschaftsrelevante Themen möglichst früh zu erkennen. Daneben möchte die ETH Zürich das Netzwerk der Alumni natürlich auch für ganz konkrete Zwecke nutzen. Die Hochschule ist künftig noch stärker als bisher auf Zuwendungen von Dritten angewiesen, damit sie den geplanten Ausbau in den unterschiedlichsten Bereichen vorantreiben kann. Ein Vorhaben, das die Ehemaligen bereits heute mit Zuwendungen unterstützen, ist das Excellence Scholarship & Opportunity Programme, das ETH-Rektorin Heidi Wunderli-Allenspach vor dem Nachtesen kurz vorstellte. Die ETH Zürich, so erklärte Wunderli, brauche neben den sozialen Stipendien auch ein Instrument, um spezielle Leistungen zu honorieren, so wie dies an amerikanischen Universitäten bereits seit Langem üblich sei. Mit ihrem Beitrag könnten die Alumni die

Ausrichtung solcher Stipendien ermöglichen. Selbstverständlich ging es am Homecoming Day nicht nur darum, Informationen zu vermitteln, sondern der Anlass sollte den Alumni auch ermöglichen, frühere Studienkolleginnen und -kollegen wiederzusehen. Der gemütliche Abend in der Physikmensa bot dazu einen idealen Rahmen. Musikalisch begleitet wurde das Wiedersehen durch die ETH Big Band, das Vokalensemble «Six in Harmony» sowie die Rockband «Hear Again».

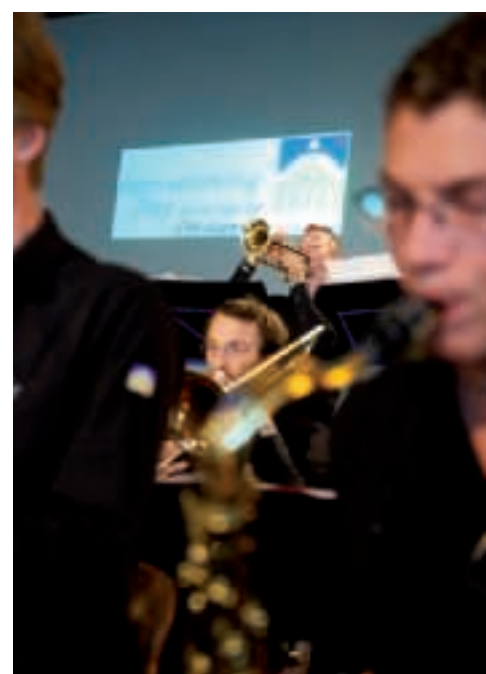
Die Kunst der klugen Lebensführung

Wie beim ersten Mal wurde der Homecoming Day auch diesmal am Sonntagmorgen durch einen Kulturbrunch im Dozentenfoyer abgeschlossen. Nach einer kurzen musikalischen Einstimmung durch ein Quartett des Alumni Sinfonieorchesters sprach der Bündner Schriftsteller Iso Camartin über die Bedeutung der

Wegweiser. Camartin, ehemaliger Professor für rätoromanische Literatur und Kultur an der ETH und der Universität Zürich, freute sich sichtlich, wieder einmal im Dozentenfoyer zu sein. Camartin steckte in seinem Vortrag ein weites Feld ab: Ausgehend von der griechischen Mythologie, als die Götter den Helden ihren Weg wiesen (oder sie zuweilen auch in die Irre führten), kam Camartin auf die Wegweiser im eigentlichen Sinn zu sprechen. Im Zeitalter des GPS erinnerte Camartin an die Anfänge der Navigation, an die ersten Kommunikationsnetze der alten Perser und Assyrer, an die Pioniere, die es schafften, auch nachts auf hoher See die Orientierung nicht zu verlieren, und an den Leuchtturm von Alexandria, der mit einer Höhe von weit über hundert Metern als eines der sieben Weltwunder der Antike gilt. Camartin liess es nicht bei den konkreten Wegweisern bewenden, sondern kam auch auf

die Wegweiser im übertragenen Sinn zu sprechen, auf die Lehrer etwa, die ihre Schüler prägen, oder die Künstler, die Entwicklungen der Gesellschaft früh erkennen und mit ihren Arbeiten beschleunigen. Für ihn persönlich sei der spanische Schriftsteller und Jesuit Baltasar Gracián ein solcher Wegweiser. Dessen Werk «Oráculo manual y arte de prudencia» («Handorakel und Kunst der Weltklugheit») zieht Camartin immer wieder bei, wenn er sich durch ein unachtsames Versprechen selbst in Teufels Küche manövriert hat. Wenn er in einer solchen Situation Graciáns Gedanken zur Kunst der taktisch klugen Lebensführung lese, erzählte Camartin schmunzelnd, habe er plötzlich das Gefühl, Teufels Küche sei, wenn man es richtig besehe, eigentlich gar kein so unangenehmer Ort – zumindest solange er seinen Gracián dabei habe. //

Text: Felix Würsten



Gefragtes Kulturprogramm am Homecoming Day 2009: der Bündner Schriftsteller Iso Camartin am Kulturbrunch der Alumni und die ETH Big Band.

Bücher



Philipp Rudolf von Rohr, Peter Walde,
Bertram Batlogg (Hrsg.)
Energie

→ Zürcher Hochschulforum Band 45
2009, 224 Seiten
zahlr. Grafiken u. Abb., broschiert
CHF 48.–, ISBN 978 3 7281 3219 2
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Die Bedeutung der Energie in unserem Leben und in der Gesellschaft ist enorm. In dieser Publikation wird auf einige Aspekte der Energie im natur- und ingenieurwissenschaftlichen Sinn eingegangen. Zudem werden aus Sicht unterschiedlicher Disziplinen die Zusammenhänge zwischen Energie und Politik bzw. Energie und menschlicher Psyche sowie der Einfluss der Energienutzung auf den Klimawandel vorgestellt. Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz, Potenziale für erneuerbare Energien, der Einfluss des zunehmenden Bedarfs von Energie in Indien und China sowie Visionen zur Energiesituation bis ins Jahr 2050 runden die Beiträge ab. //



Robert Fischer, Peter Schwehr
Module für das Haus der Zukunft

→ 2009, 88 Seiten
zahlr. Grafiken u. Fotos, durchgehend farbig,
brochtiert
CHF 38.80, ISBN 978 3 7281 3286 4
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Das Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP) der Hochschule Luzern Technik & Architektur hat in Zusammenarbeit mit ProHolzLignum Luzern Module für das Haus der Zukunft entwickelt. Sie sind, ausgehend vom Paradigma der Nachhaltigkeit, als Visionen und Anforderungen an zukunftsfähige Wohngebäude in den Bereichen Lebensqualität, Ressourcen und Wertschöpfung formuliert. Es ist ein praxistaugliches Planungswerkzeug entwickelt worden, das der ganzheitlichen Erfassung und individuellen Bewertung der verschiedenen Anforderungen an nachhaltiges Bauen dient. Einsatz findet es in erster Linie bei der Zielvereinbarung zwischen Bestellenden, Planenden und künftigen Nutzenden. //



Walter Hehl
**Trends in der Informationstechnologie –
Von der Nanotechnologie zu virtuellen
Welten**

→ 2008, 176 Seiten
zahlr. Abb., z.T. farbig, broschiert
CHF 38.–, ISBN 978 3 7281 3174 4
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Der Begriff Informationstechnologie ist in heutiger Verwendung so breit angelegt wie die Anwendungen der IT selbst. Er umfasst nicht nur Informatik, Computer- und Kommunikationstechnologie, sondern auch die psychologischen und sozialen Aspekte als Folge der Durchdringung des Alltagslebens mit IT-Anwendungen.

Die Publikation zeigt eine Auswahl aktueller Trends, von den physikalischen Grundlagen (ohne Formeln) und Nanotechnologie, von Systemdesign und Software bis hin zu Phänomenen wie Web 2.0 und virtuelle Welten. Aus diesem breiten Spektrum werden im Anhang etwa 50 aktuelle Begriffe erläutert.

Die Breite der Themen sowie die verständliche Sprache unterstützen die Brauchbarkeit des Bandes für verschiedenste Zielgruppen, vom Fachinformatiker bis zum an Innovationen interessierten Manager oder einfach dem «Endnutzer». //

Agenda

→ 29. November 2009

Science Talk am Sonntag

Die Zürcher Stadtpräsidentin Corine Mauch unterhält sich mit ihrem Wunschgast Nicolas Gruber, Professor für Umweltphysik an der ETH Zürich, über Umwelt- und Klimafragen und darüber, wie sich wissenschaftliche Erkenntnisse in die Politik umsetzen lassen. Im Anschluss an die von Rolf Probal, dem langjährigen Fernsehjournalisten, moderierte Gesprächsrunde referiert Nicolas Gruber in einer Kurzvorlesung über die «Dreiecksbeziehung – Mensch, Kohlenstoffkreislauf, Klima».

29. November 2009, 11 bis 14 Uhr
ETH Zürich, Hönggerberg, HC

→ 1. Dezember 2009

Die Zukunft des Menschen: entgrenzt, verbessert, übermenschlich?

Das Collegium Helveticum lädt ein zu einem spannenden Dialog über die «Zukunftsvisionen zwischen Wissenschaft und Fiktion». Es diskutieren neben Professor Gerd Folkers, dem Direktor des Collegiums: Dr. Susanne Brauer, wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Nationalen Ethikkommission (Bereich Humanmedizin), Buchautor und Wissenschaftsjournalist Beat Glogger sowie Dr. Dieter Sträuli vom Psychologischen Institut der Universität Zürich.

1. Dezember 2009, 18.15 bis 20 Uhr
Semper-Sternwarte, Schmelzbergstrasse 25,
8006 Zürich

→ 15. Dezember

Tonhalle-Konzert

Auf dem Programm des Akademischen Orchesters Zürich stehen an diesem Abend die «Symphonie fantastique» von Hector Berlioz, «Eine Nacht auf dem Kahlen Berge» von Modest Petrowitsch Mussorgski sowie das Fagott-Konzert in F-Dur von Carl Maria von Weber. Geleitet wird das Orchester von Johannes Schläefli, Solist am Fagott ist Wukun Shu. Karten gibt es ab 17.30 Uhr an der Abendkasse oder im Vorverkauf unter: 044 221 22 83 oder 044 253 76 76.

15. Dezember 2009,
18.30 Uhr Werkeinführung
19.30 Uhr Beginn
Tonhalle Zürich



Das Akademische Orchester Zürich unter Leitung von Johannes Schläefli spielt am 15. Dezember zu einem vorweihnachtlichen Konzert in der Tonhalle auf.

Korrigendum:

In der Ausgabe Nr. 3 von September 2009 wurde das Preisgeld für den Rössler-Preis irrtümlich mit 20 000 Franken angegeben. Der Preis ist jedoch mit 200 000 Franken dotiert.

«Wir können nie wissen, was der andere wirklich schmeckt»

Im interdisziplinären Projekt «Sensory Language and the Semantics of Taste» erforschen Fachleute aus der Linguistik und der Lebensmittelsensorik den Geschmackswortschatz der deutschen Sprache. Ein Online-Lexikon soll dokumentieren, womit Worte wie «frisch» oder «würzig» assoziiert werden.



Dr. Jeannette Nuessli Guth, Lebensmittelsensorikerin am Institut für Umweltentscheidungen der ETH Zürich.

Frau Nuessli, ich habe heute zum Frühstück einen Apfel gegessen. Er hat einerseits süss, andererseits ein wenig holzig geschmeckt. Apfel und süss, das widerspricht sich nicht. Und auch unter holzig kann man sich etwas vorstellen. Spannend wäre nun, wenn Sie mir ein Stück von diesem Apfel mitgebracht hätten. Dann könnte ich daran, was Sie empfunden haben und eben «Geschmack» nennen, teilhaben – wenn auch nicht genau gleich erleben.

Was ist denn eigentlich Geschmack?

Wenn man es strikt physiologisch anschaut, gibt es fünf Grundgeschmacksarten: süss, sauer, salzig, bitter und umami. Letzteres wird umgangssprachlich als würzig oder bouillonartig beschrieben. Hinzu kommen Aromen, die unsere Nase wahrnimmt. Die Kombination von alledem nehmen wir als Gesamtheit in unserem Mund wahr – und das ist, was wir dann in der Sprache Geschmack nennen. Bei der Wahrnehmung hinterfragen wir uns nicht, ob etwas sauer oder bitter ist. Für den Menschen ist entscheidend, ob er etwas gern hat oder nicht, denn aufgrund dessen entscheidet er, was er isst.

Dann können wir den Geschmackswortschatz auf «gut» und «nicht gut» reduzieren? Wir wollen ja differenziert über Geschmack sprechen. Beim Riechen und Schmecken kommen immer nonverbale Reaktionen, Emotionen und vor allem auch Bilder hinzu, und wir können nie wissen, was der andere wirklich schmeckt und empfindet. Wir können nur versuchen, unser Geschmackserlebnis über die Sprache auszutauschen. Ich war einmal in China und bin dort durch Märkte gegangen – und als ich einige Zeit später in New York durch Chinatown spazierte, war das für mich einfach «wie China».

Ist also der bestehende Geschmackswortschatz eher zu klein?

Sprache ist etwas sehr Flexibles. Beim Versuch, einen Geschmack zu beschreiben, entstehen

ganz automatisch Abgrenzungen. Obwohl es viele Punkte gibt, wo wir an unsere Grenzen stossen könnten, bietet die Sprache Möglichkeiten, damit wir uns trotzdem verstehen. Eine wichtige Fragestellung in unserem Projekt ist, mit welchen sprachlichen Mustern Wahrnehmungen mitgeteilt werden können.

Und diese sprachlichen Möglichkeiten fassen Sie in einer Datenbank zusammen.

Genau, wir sammeln Begriffe, die im Geschmackskontext vorkommen, und die damit verbundenen Assoziationen. Die Liste beinhaltet mehrere hundert Wörter, von denen wir einzelne vertieft untersucht haben. Teilweise geht die Dokumentation auch über sprachliche Äusserungen hinaus, denn das Empfinden während des Essens und Trinkens ist nicht immer mit verbalen Äusserungen verbunden. In unser Geschmackslexikon können wir beispielsweise auch Videoaufnahmen einbauen, die jemanden beim Konsumieren scharfer Speisen und die damit einhergehenden nonverbalen Reaktionen zeigen.

Wem dient dieses Geschmackslexikon?

Nebst der Wissenschaft stellen wir uns die Lebensmittelindustrie als Hauptnutzer vor und dort vor allem die Bereiche Sensorik und Marketing. Der Konsument steht heute mehr im Zentrum; man will wissen, wie er entscheidet, wenn er ein Produkt kauft. Wenn es beispielsweise darum geht, einen Slogan zu generieren, kann das Online-Lexikon zeigen, was Konsumenten unter bestimmten Ausdrücken wie «knusprig» oder «knackig» verstehen – und damit die Ideenfindung unterstützen. Natürlich könnte man die Begriffe auch einfach bei Google eingeben – unsere Daten basieren jedoch auf unterschiedlichen Erhebungsmethoden und sind wissenschaftlich abgesichert.

Das Projekt läuft offiziell bis Mitte 2010. Wo stehen Sie heute?

Unser Ziel ist, den Geschmackswortschatz der deutschen Sprache im Ganzen zu erfassen. Einerseits wird das Online-Lexikon strukturell und technisch aufgebaut. Andererseits sind wir noch immer dabei, Daten zu erheben. Dies geschieht zum Beispiel in Fokusgruppen, in denen wir ausgewählte Personen dazu auffordern, über ausgesuchte Begriffe zu diskutieren. Das Ziel ist, möglichst umfangreiches Sprachmaterial zu erheben, und wir entdecken jeden Tag wieder Spannendes und Faszinierendes. Für mich als Naturwissenschaftlerin hat dieses Projekt eine ganz neue Welt eröffnet. //

Interview: Lukas Langhart

Semantik des Geschmacks – Sensory Language and the Semantics of Taste

Im interdisziplinären Forschungsprojekt «Semantik des Geschmacks» erforschen Linguisten, Lebensmittelsensoriker und Kognitionswissenschaftler den Geschmackswortschatz der deutschen Sprache. Das von der Gebert Rüt Stiftung geförderte Projekt leistet zum einen Grundlagenforschung an der Schnittstelle von Sensorik und Sprache. Zum anderen arbeitet das Projektteam anwendungsorientiert und erstellt in Zusammenarbeit mit Fachleuten der Lebensmittelindustrie ein Online-Lexikon des Geschmacks. «Semantik des Geschmacks» ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Seminars der Universität Zürich, des Deutschen Seminars der Universität Basel, des Departements für Angewandte Linguistik der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften sowie des Instituts für Umweltentscheidungen der ETH Zürich.

→ www.sensorysemantics.ch

LASSEN SIE SICH ÜBERRASCHEN

Sie werden überrascht sein, wo überall Sie uns finden. Thales besitzt eine führende Position als Systemhaus und Generalunternehmer und ist seit über 60 Jahren Partner der Schweizer Armee.

Mit konkurrenzfähiger Leistung, führender Technologie und massgeschneiderten Unterhaltslösungen stehen wir unserer Armee zur Verfügung. Unsere Kernkompetenzen liegen in den Bereichen

- **Aufklärung**
- **Führung**
- **Kommunikation**
- **Radar**
- **Simulation**

Laufende Thales Vorhaben sind unter anderem das

ABC Aufklärungsfahrzeug, der Radio Access Point (RAP) Panzer, das integrierte Funkaufklärungs- und Sendesystem (IFASS) sowie auch das Führungsinformationssystem Heer (FIS HE) und Richtfunksysteme.



Unsere integrierten Lösungen unterstreichen die führende Rolle von Thales auf dem Schweizer Markt.

Für weitere Informationen kontaktieren Sie uns unter info@ch.thalesgroup.com oder Tel.: +41 (0)44 457 17 17.

THALES
The world is safer with Thales

rega 



Weil Sie wissen, was wir tun.
Gönner werden: www.rega.ch