

ETH GLOBE

Das Magazin der ETH Zürich, Nr. 1 / März 2011



Die Roboter kommen!

Umwelt

Erkenntnisse aus dem
Kabelwald

Umfrage

Frauenpower
für die ETH

Urgestein

Der alte Mann
und die Geologie

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Open Systems gehört mit seinen Mission Control Security Services im Bereich IT-Sicherheit zu den europaweit anerkannten Anbietern. Wir arbeiten von Zürich und Sydney aus in einem dynamischen Umfeld in über 120 Ländern. Bei uns kannst Du Dein Wissen in einem jungen Team in die Praxis umsetzen und rasch Verantwortung übernehmen. Infos über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten sowie Videos findest Du auf unserer Website.

www.open.ch

Liebe Leserin, lieber Leser



Roland Siegwart, Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen (Bild: Giulia Marthaler)

Werden Roboter uns in naher Zukunft im täglichen Leben als Partner begleiten, uns im hohen Alter pflegen, unser Leben beglücken oder beherrschen? All diese Fragen wurden schon in der Mitte des letzten Jahrhunderts in der Literatur und speziell durch Science-Fiction-Filme thematisiert.

Roboter in der Science-Fiction sind vor allem in den Köpfen kreativer Autoren und Filmemacher entstanden. Die technische Faszination an menschenähnlichen Maschinen dagegen geht ins 18. Jahrhundert zurück. Um 1750 entstanden in Grenoble und im Schweizer Jura in den Werkstätten der Uhrmacher die ersten Automaten, die noch heute faszinieren. Diese Automaten waren zwar nicht wirklich intelligent, konnten aber Musik spielen, schreiben oder zeichnen. Der ultimative Automat namens «Pouchkine» wurde im letzten Herbst vom weltweit führenden Schweizer Automatier François Junod vorgestellt. Dank «mechanischer» Intelligenz kann er über 1400 Gedichte schreiben.

Intelligenz ist, nach der Einführung des ersten Industrieroboters von Unimate und dem folgenden Einzug von Robotern in der industriellen Produktion, ins Zentrum der Robotik gerückt. Über lange Zeit stand die klassische künstliche Intelligenz, die versucht, die ganze Komplexität eines Systems über ein Modell abzubilden, im Fokus der Forschung. Leider konnten die hochgesteckten Erwartungen nicht erfüllt werden. In der Mitte der 1980er-Jahre waren es dann einige junge Nerds, angeführt von Rodney Brooks, die mit der Idee der verhaltensbasierten künstlichen Intelligenz und den neuronalen Netzwerken eine kleine Revolution auslösten. Leider haben auch diese Ansätze nicht die erhofften schnellen Fortschritte in der künstlichen Intelligenz und der Robotik gebracht.

Trotzdem wurden speziell in den letzten 15 Jahren sehr grosse Fortschritte im Bereich in-

telligenter autonomer Roboter gemacht. Treiber dieser Fortschritte waren vor allem neue Sensortechnologien (Laserdistanzsensoren, digitale Kameras) und die exponentiell steigende verfügbare Rechenleistung. Dies hat ermöglicht, dass zum Beispiel die probabilistischen Methoden von Thomas Bayes aus dem 18. Jahrhundert plötzlich auf komplexe Systeme anwendbar und rechentechnisch implementierbar wurden. Gepaart mit neuen Methoden aus dem maschinellen Lernen wurden dadurch Roboter möglich, die zum Beispiel autonom im Strassenverkehr mitfahren oder einfache Aufgaben im täglichen Leben übernehmen können. Der Weg zu Robotern, deren Intelligenz mit der des Menschen vergleichbar ist, ist jedoch noch sehr weit.

Die ETH Zürich gehört zu den führenden Universitäten in der Robotik. Überhaupt ist die Schweiz in diesem Bereich sehr gut aufgestellt – nicht zuletzt mit dem neuen Nationalen Forschungsschwerpunkt Robotik, an dem auch die ETH mit diversen Projekten massgeblich beteiligt ist. Es geht darum, neue, auf den Menschen ausgerichtete Robotertechnologien zu entwickeln, die unsere Lebensqualität verbessern sollen.

Dieser ETH Globe besucht Forscher und ihre Roboter im Labor und berichtet von den kleinsten Robotern der Welt, von intelligenten Mini-Helikoptern, von bioinspirierten Laufrobotern und vielem mehr. Tauchen Sie ein in die faszinierende Welt der Robotik.

Roland Siegwart

Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen und Professor für autonome Systeme an der ETH Zürich

Inhalt

3 Editorial

Blitzlicht

6 Virtueller Tempelbau

Kompakt

8 Nachrichten aus der ETH

Am Puls

10 Der verkabelte Wald



Mit ausgeklügelter Technik wollen ETH-Forscher herausfinden, wie der Kohlenstoffkreislauf in der grünen Lunge wirklich funktioniert. Ein Besuch im Freiluftlabor.

Fokus – Roboter

14 Die cleveren Helfer



Roboter sind mitten unter uns. Sie mähen Rasen, suchen in Erdbebengebieten nach Verschütteten oder helfen bei der Pflege kranker und alter Menschen. Ein Blick in die Welt der Roboter, die unsere Welt ist.

18 Der Roboter im Auge

22 Autonome Multitalente

28 Rendezvous im All



Einer der führenden Robotiker der Welt erzählt, wie Roboter Kaffee kochen, was Weltraumroboter heute können und wie das menschliche Gehirn zur Roboterschnittstelle wird. Interview mit Gerd Hirzinger, Leiter des Instituts für Robotik und Mechatronik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

32 Sanfte Therapeuten

35 Die pffiffigen Roboterjungs

Kompakt

36 Nachrichten aus der ETH

ETH Aktuell

38 Sag mir, wo die Frauen sind



Das erste Gender-Monitoring der ETH Zürich hat gezeigt: Auf dem Weg vom Studium zur Professur verliert die Hochschule viele Frauen. Jetzt ergreift die ETH Zürich Massnahmen.

Serie

40 Chemie des Lebens

Profil

42 Der Professor und die Quanten-Kids



Seine Forschung liegt jenseits der Grenzen der klassischen Physik, trotzdem ist er ganz von dieser Welt. Klaus Ensslin forscht mit Leidenschaft und schafft dabei auch ein familienfreundliches Arbeitsklima.

Nachgefragt

45 Messen am Limit

ETH Zürich Foundation

46 Fördern beflügelt

Historie

48 Der Vater des Himalaja



Er unternahm abenteuerliche Expeditionen und erkundete unter Lebensgefahr das verschlossene Tibet. Eine lebende Legende ist hundertjährig – der Geologe Augusto Gansser.

Kolumne

50 Theisoohns Welt

IMPRESSUM

Herausgeber: ETH Zürich. Redaktion: Hochschulkommunikation, Thomas Langholz (Leitung), Martina Märki, Christine Heidemann. Mitarbeit: Lukas Langhart, Catarina Pietschmann, Peter Rüegg, Samuel Schläfli, Philipp Theisoohn, Simone Ulmer, Felix Würsten. Fotos: Titelbild: Roland Tännler. Inserate: Go! Uni-Werbung, St. Gallen, Tel. 071 244 10 10, E-Mail info@go-uni.com. Gestaltung: Crafft Kommunikation AG, Zürich. Korrektorat und Druck: Swissprinters Zürich AG. Auflage: 23 000, erscheint viermal jährlich. Weitere Infos und Kontakt: www.ethz.ch/ethglobe, ethglobe@hk.ethz.ch, Tel. 044 632 42 52. ISSN 1661-9323. Adressänderungen an ethglobe@hk.ethz.ch



ETH Globe wird klimaneutral gedruckt mit myclimate.





Virtueller Tempelbau

3-D-Animationen werden in Architektur und Städteplanung, in Computerspielen und Filmen immer wichtiger. Eine sehr effiziente Methode, wie aus Fotos von Gebäuden automatisch 3-D-Modelle entstehen, demonstrieren ETH-Informatiker hier am Beispiel des Poseidon-Tempels in Paestum.

Der ETH-Spin-off «Procedural inc.» aus dem Institut für Bildverarbeitung bietet seit einiger Zeit mit CityEngine eine Software, mit deren Hilfe man 3-D-Animationen von Gebäuden und Städten in Rekordzeit erstellen kann. Das Geheimnis dahinter: Eine kompakte Beschreibung mit Regeln in Textform, eine Art Rezept, im Fachjargon «Procedural Model» genannt, aus der der Computer ein 3-D-Modell generiert, das beliebig variiert werden kann. Solche Textbeschreibungen musste der Anwender bisher selbst verfassen. Im Institut für Bildverarbeitung haben Forscher jetzt eine bessere Lösung entwickelt: Der Computer erstellt die Texte aufgrund von Fotos selbst. «Dahinter steckt viel künstliche Intelligenz», erklärt Projektmitarbeiter Julien Weissenberg. «Der Computer muss Dinge auf Fotos erkennen und er muss verstehen, was er sieht.» Zur 3-D-Rekonstruktion des Poseidon-Tempels wurde der Computer mit 129 Fotos der Tempelruine gefüttert. Verwendet wurde Fotomaterial aus dem Internet: Urlaubsfotos, Reiseführer und anderes mehr. Das erklärt auch, warum die Forscher als Demonstrationsobjekt einen griechischen Tempel gewählt haben. «Davon gibt es viele Fotos, zumindest von den Ruinen», schmunzelt Weissenberg. «Und dass dorische Tempel einen klaren Stil haben, macht es uns relativ leicht, sie virtuell neu zu schaffen.» Kulturelles Erbe kann so virtuell restauriert und erlebbar gemacht werden.

(Bild: Julien Weissenberg / ETH Zürich)

Autos mit Sonnenenergie betanken



Aldo Steinfeld (links) und Philipp Furler verfolgen ein Experiment mit ihrem solaren thermochemischen Reaktor am Hochfluss-Solarsimulator der ETH Zürich. (Bild: Peter Rüegg / ETH Zürich)

Einem Forschungsteam der ETH Zürich, des PSI und des California Institute of Technology ist es gelungen, aus Wasser und Kohlendioxid solare Treibstoffe zu erzeugen. Dazu haben die Forscher einen neuartigen Reaktor entwickelt, in dem konzentrierte Sonnenstrahlung ein stabiles und schnelles thermochemisches Verfahren antreibt, das Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) in ein Gemisch von Wasserstoff (H_2) und Kohlenmonoxid (CO) umwandelt. Dieses «Syngas» ist eine Vorstufe von flüssigen Treibstoffen.

Der Reaktor besteht aus einem Hohlraum-Receiver, welcher einen porösen, monolithischen Ceriumoxid-Zylinder enthält. Die konzentrierte Solarenergie hat eine Strahlungsintensität, die der Kraft von 1500 Sonnen entspricht, und wird vom Ceriumoxid direkt und effizient absorbiert. Im ersten Schritt des zweistufigen Metalloxid-Redox-Prozesses wird Ceriumoxid mit Hilfe konzentrierter Sonnenstrahlung bei einer Temperatur von 1500 °C reduziert. Dabei gibt das Material Sauerstoffatome aus der Struktur ab. Im zweiten Schritt lässt man das reduzierte Ceriumoxid bei etwa 900 Grad Celsius mit Wasserdampf und CO_2 reagieren. Dabei werden die Wasser- und CO_2 -Moleküle aufgebrochen. Die freiwerdenden Sauerstoffatome werden so in die Materialstruktur von Ceriumoxid integriert, dass es in seine Ausgangsform zurückkehrt und der Prozess

erneut beginnen kann. Übrig bleibt das erwünschte «Syngas». Der Umwandlungswirkungsgrad von Sonnenenergie in Treibstoff eines 2-kW-Reaktor-Prototyps betrug 0,8 Prozent. Thermodynamische Analysen zeigen, dass Wirkungsgrade von bis zu 19 Prozent erreicht werden können. Zurzeit sind Steinfeld und seine Gruppe daran, mit Hilfe numerischer Strömungsmechanik und Wärmeübertragungs-Simulationen den Solar-Reaktor so zu optimieren, dass er auch in grossem Massstab – im Megawatt-Bereich – in Solarturm-Anlagen eingesetzt werden kann.

Stürmische Planeten

Ausserhalb unseres Sonnensystems wurden inzwischen Hunderte von Planeten nachgewiesen. Wie es auf ihnen aussieht, ist bisher kaum bekannt. Kevin Heng vom Institut für Astronomie der ETH Zürich versucht, diese Wissenslücke zu schliessen. Dabei handelt es sich um ein noch junges und spekulatives Forschungsgebiet, da die Informationen, die aus Messungen direkt abgeleitet werden können, sehr limitiert sind.

Basierend auf bisherigen Beobachtungen, hat Kevin Heng mit Hilfe von Simulationsmodellen rekonstruiert, welche klimatischen Bedingungen auf verschiedenen Exoplaneten herrschen könnten. Dabei hat er beispielsweise berechnet, dass auf einem der grössten bisher entdeckten Planeten offenbar heftige Winde wehen – mit Geschwindigkeiten von mehreren Kilometern pro Sekunde. Eine Animation, wie sich die Temperatur auf dem Exoplaneten T63L33 entwickelt, findet sich unter:

→ www.ethglobe.ethz.ch/planeten



Temperaturverteilung auf dem «heissen Jupiter» T63L33. (Bild: Kevin Heng)

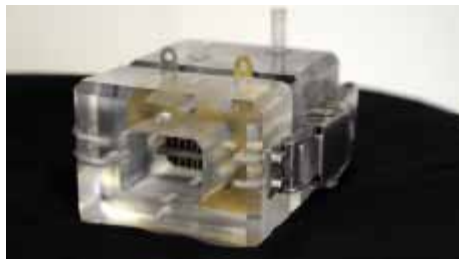
Im Amt bestätigt



Ralph Eichler, der alte und neue ETH-Präsident. (Bild: ETH Zürich)

Ralph Eichler bleibt Präsident der ETH Zürich. Der Bundesrat hat den Physiker für eine zweite Amtszeit vom 1. September 2011 bis 31. Dezember 2014 wiedergewählt. Damit setzte der Bund ein Zeichen der Kontinuität und bestätigte die erfolgreiche Strategie der Hochschule. Mit seinem entschiedenen Eintreten für eine qualitativ hochstehende Lehre, eine international herausragende Forschung und einen innovationsorientierten Wissenstransfer, so ETH-Ratspräsident Fritz Schiesser, sei Ralph Eichler ein überzeugender Präsident.

Neue Brennstoffzelle



Prototyp der Brennstoffzelle, die abfallfrei Strom aus Chemikalien liefert (Bild: Peter Rüegg / ETH Zürich)

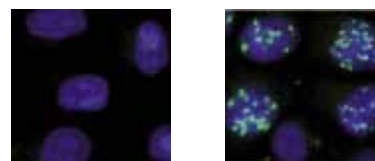
Zwei Fliegen mit einer Klappe schlägt eine neuartige metallorganische Brennstoffzelle, die die Forschungsgruppe von Hansjörg Grützmacher, Professor für anorganische Chemie der ETH Zürich, zusammen mit italienischen Kollegen entwickelt hat. Die Apparatur liefert abfallfrei Feinchemikalien und CO₂-freie Energie.

Das Spezielle an der Brennstoffzelle ist die Anode, der Teil, der elektrische Ladungen aufnimmt und an die Kathode weiterleitet, die diese abgibt. In das Anodenmaterial aus Kohlenstoffpulver ist fein verteilt ein molekularer Komplex eingebettet, der das Metall Rhodium enthält. Der Metallkomplex wirkt als Katalysator, der sich während der chemischen Reaktionen, die in der Brennstoffzelle ablaufen, schrittweise verändert und dadurch für jeden einzelnen Reaktionsschritt spezifisch wird. So kann ein Alkohol als Ausgangsstoff, zum Beispiel Ethanol, in den entsprechenden Aldehyd und im nächsten Schritt in die entsprechende Karbonsäure, Essigsäure umgesetzt werden. Mit Hilfe des speziellen Katalysators können auch Zucker wie Glukose verwendet werden. Die metallorganische Brennstoffzelle hat hohes Potenzial. Miniaturisiert könnte sie als Antrieb für Herzschrittmacher dienen. In grösserem Massstab eingesetzt könnte sie abfallfrei Feinchemikalien wie Milchsäure herstellen. Denn bei der Herstellung mit herkömmlichen Methoden entstehen Tonnen giftigen Abfalls. Die neuartige Brennstoffzelle könnte zudem den Metallbedarf von Katalysatoren senken. Ziel der Forschung ist es, eine Brennstoffzelle zu entwickeln, deren Elektrode ohne Metalle oder zumindest nur mit häufig vorkommenden Metallen auskommt.

Reparatur am Erbgut schützt vor Krebs

Wenn Krebs entsteht, sind dafür Schäden am Erbgut, der DNS, verantwortlich. Diese können durch Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel UV-Strahlung, verursacht werden. Sie treten aber auch bei natürlichen Prozessen wie der Zellteilung auf. Dabei verdoppelt die Zelle ihre DNS, um sie anschliessend gleichmässig auf zwei Tochterzellen zu verteilen. Bei der Verdoppelung, der Replikation, können sich Fehler in die neu gebildete DNS einschleichen. Die Funktion der Zelle kann dadurch so stark gestört werden, dass sie zu einer Krebszelle entartet. Nun haben Forscher um Matthias Peter, Professor am Institut für Biochemie der ETH Zürich, ein Protein entdeckt, das solche Replikationsschäden gezielt beseitigt. «Die DNS-Replikationsmaschinerie arbeitet zwar sehr genau, aber sie ist nicht perfekt», erklärt ETH-Postdoktorand

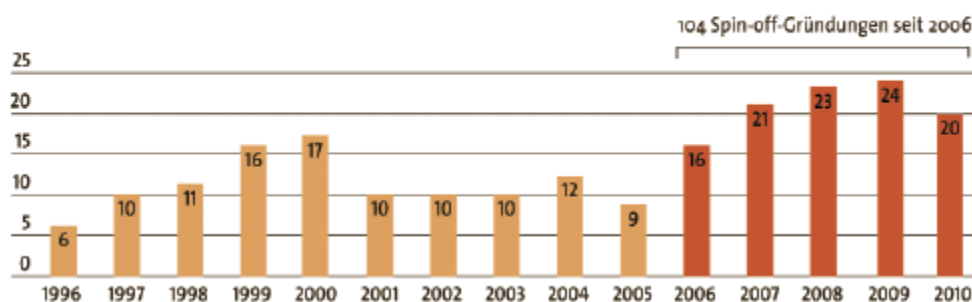
Wojciech Piwko. Umso wichtiger ist es, dass Fehler erkannt und beseitigt werden. Das Mms22L genannte Protein heftet sich an schadhafte Stellen der neu gebildeten DNS und rekrutiert weitere Proteine, die den Defekt reparieren. Matthias Peter und sein Team sind deshalb überzeugt, dass Mms22L mit seiner Funktion eine Schlüsselrolle beim Schutz der DNS zukommt.



Fehlt Mms22L (rechtes Bild), sammeln sich in der DNS Fehler an, hier mit grünem Farbstoff sichtbar gemacht. Links: Zellkerne mit funktionstüchtigem Mms22L (Bild: Wojciech Piwko / ETH Zürich)

Erfolgreiches Jahr für ETH-Spin-offs

215 Spin-off-Gründungen an der ETH Zürich in den Jahren 1996–2010



Der Trend der letzten Jahre hält an: Auch 2010 gründeten ETH-Angehörige wieder 20 Spin-off-Firmen. Seit 2005 gingen damit 104 neue Unternehmen aus der ETH-Forschung hervor. Besonders erfreut ist der Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen der Hochschule, Roland Siegwart, über die vier neuen Spin-offs aus der Medizintechnik: «Unsere strategischen Forschungsinvestitionen in diesen Bereich

beginnen sich auszuzahlen.» Für ihre vielversprechenden Geschäftsideen und -pläne erhielten zudem zahlreiche Spin-offs der Hochschule namhafte Jungunternehmer-Auszeichnungen – darunter den Swiss Technology Award, den Schweizer Innovationspreis, den DeVigier-Preis sowie Startkapital der Initiative Venture Kick. Damit gingen im letzten Jahr Preisgelder von insgesamt 760 000 Franken an ETH-Spin-offs.



Lydia Gentsch konserviert Buchenblätter in flüssigem Stickstoff. (Bilder: Jürg Waldmeier)

Der Atem des Waldes

Ein ausgeklügeltes Netzwerk aus Messvorrichtungen, Schläuchen und Kabeln, das ETH-Forscher in einem Schweizer Buchenwald installierten, erforscht den Kohlenstoffkreislauf der «grünen Lunge». ETH Globe begleitete eine der Forscherinnen in ihr Freiluftlabor.

Simone Ulmer

Ortstermin Lägeren, September 2010:

Es ist ein milder sonniger Frühherbsttag. Die Biologin Lydia Gentsch fährt mit dem Auto über die hellen Kalkschotter höher und höher den bewaldeten Berg hinauf. So hoch kommen normalerweise nur eifrige Wanderer. Auf den ersten Blick weisen lediglich Informationstafeln darauf hin, dass hier mehr als nur Wald ist: Die Forscherin ist auf dem Weg zu ihrem «Freiluftlabor» – einem «verkabelten Wald» auf der Lägeren, dem nordöstlichen Ausläufer der Jurakette zwischen Baden und Dielsdorf.

Noch sind die Buchenblätter der Laubbäume grün. Der Boden ist feucht; alte verdorrte Blätter rascheln unter den Füßen. Es riecht nach Herbst. Am Waldrand steht eine etwa sechs Quadratmeter grosse Holzhütte. Als Gentsch sie betritt, um in ihre Geländekleidung zu schlüpfen, überschreitet sie eine Grenze zwischen Natur und Hightech, markiert durch eine einfache Holztür: draussen das leise Rauschen der Buchenblätter und Vogelgezwitscher – im Innern der Hütte dagegen herrscht ein geradezu ohrenbetäubender Lärm. Eine Klimaanlage und diverse Messgeräte laufen rund um die Uhr auf Hochtouren.

Die Holzbaracke entpuppt sich bei näherem Hinsehen als echtes Hightech-Labor. Auf den Tischen stehen dicht gedrängt zwei Laserspektrometer, Bildschirme und Computer; in der Ecke lagern Gasflaschen und ein Behälter mit flüssigem Stickstoff. Lydia Gentsch kontrolliert

die Füllung der Gasflaschen und überprüft den Kompressor. Unter den quer durch den Raum verlegten Leitungen befinden sich Schläuche. Sie transportieren die Luft von den Messvorrichtungen, die draussen versteckt im Wald an den Bäumen und im Boden angebracht sind, zu den Analysegeräten.

Die Luft-Analysen sollen Antworten auf die grosse Fragestellung des Projekts geben: Wie viel Kohlendioxid (CO₂) können Wälder binden? Welche Mechanismen sind dafür verantwortlich, wie laufen sie ab, und wie reagiert dieser Prozess auf Klimavariationen – etwa auf längere Trockenperioden? Wälder und Graslandschaften sind wichtige Kohlenstoffsinken. Noch weiss man wenig darüber, wie diese Senken auf ein wärmer werdendes Klima reagieren. Gelingt es Lydia Gentsch und ihren Kollegen mit ihrem Projekt, die grundlegenden Prozesse im Kohlenstoffkreislauf zu bestimmen und durch bestehende Modelle zu verifizieren, hilft dies, die natürlichen terrestrischen Kohlenstoffsinken besser in Klimamodellen zu berücksichtigen.

Im Büro in Zürich, Januar 2011:

Die Arbeit im Wald liegt Monate zurück. Heute braucht Lydia Gentsch keine Geländeausrüstung. Seit dem Ende der Feldarbeit verbringt sie die Tage in einem zum Büro umfunktionierten Labor an der Rämistrasse in Zürich, umringt von den abgebauten 15 Messeinheiten

der Lägeren. Sie schreibt an ihrem Computer Programme, die den unleserlichen «Datensalat» von Millionen Datenpunkten der Messeinheiten extrahieren und auseinandernehmen. Hier im warmen Büro kann man sich kaum noch vorstellen, wie aufwendig es war, die Daten zu gewinnen.

Im Wald, September 2010:

Die Untersuchungsfläche im Wald liegt etwas abschüssig zu einer Lichtung hin. Ausgestattet mit festem Schuhwerk und diversen Utensilien, wie etwa flüssigem Stickstoff, macht sich die Biologin auf in den «Kabelwald». Zwei Meter ab vom Weg wird dieser zum ersten Mal richtig sichtbar: Jetzt enttarnen sich die Leitungen, die durch Gestrüpp und Blätter bis anhin unsichtbar waren, indem sie in einem grauen Verteilerkasten zusammenlaufen. Ein paar Meter entfernt, den leicht glitschigen Waldboden bergab, tauchen plötzlich graue Plastikröhren auf, Bodenkammern mit einem Durchmesser von etwa 20 Zentimetern, wenige Zentimeter tief in den Boden eingelassen. Einige sind durch einen verkabelten Plastikdeckel verschlossen, andere sind offen. Die offenen wirken unscheinbar, der Plastikring ist lediglich eine wenige Millimeter dicke Barriere zwischen dem Boden aussen und dem Boden innerhalb des Rings. Plötzlich ist das leise Surren eines Elektromotors zu hören: Wie von Geisterhand bewegt sich der Deckel einer der Kammern zur Seite und öffnet diese.

An einem Baumstamm etwas oberhalb ist eine Ringkammer um einen Buchenstamm gelegt, von der aus schwarze Kabel unter dem Laub auf dem Boden verschwinden. Auch hier wird gemessen: Kohlendioxid, Feuchte und Temperatur. Zur Lichtung hin, wo die Sonne ungehindert auf die Bäume trifft, sind die Astkammern installiert: Durchsichtige Teflonfolien umschliessen belaubte Äste. Wie feine Blutgefässe ziehen sich dünne blaue Kabel in den



Ein schockgefrorenes Buchenblatt.



Die Luft in den transparenten Astkammern wird nach jedem Messzyklus über Schläuche zu den Laserspektrometern in der Hütte transportiert.

Astkammern zu den Blattunterseiten, hin zu winzigen Sensoren, die kontinuierlich die Temperatur einzelner Blätter messen. Auch der Lichteinfall wird registriert – insgesamt alle wichtigen Faktoren, die den Grad der Photosynthese, den Umbau von CO₂ und Wasser in Zucker, beeinflussen.

Vorsichtig schneidet Lydia Gentsch mit einer Schere einzelne Blätter von einem Zweig ab, packt sie in kleine Plastiktüten, die sie dann in einen Behälter mit flüssigem Stickstoff taucht: Schlagartig erstarren die Blätter im sprudelnden Stickstoff und sterben ab – schockgefroren und konserviert im Zustand ihrer «Ernte». Die Wissenschaftlerin greift zu einem Spezialmesser, stanz ein wenige Millimeter grosses kreisrundes Rindenstück aus einer Buche und füllt Bodenproben in ein Gefäss ab. Während der Messkampagne sammelt Gentsch einmal pro Woche solche Vergleichsproben zu den kontinuierlichen Messungen der Kammern. Immer zur selben Uhrzeit. Die Proben werden für den Transport ins ETH-Labor sofort in Trockeneis verpackt, damit sie sich nicht zersetzen. Dadurch würden die Messungen verfälscht.

Etwas 100 Quadratmeter Wald sind mit 15 Messkammern im Boden, an Stämmen und in den Ästen durchsetzt. Gentsch steigt bei ihrem Rundgang immer wieder über Kabel der Messvorrichtungen, die in den grauen Verteilerkästen zusammenlaufen. Die Verteilerkästen sind sozusagen die Knotenpunkte zwischen den

Messeinheiten und der Hightech-Zentrale der Hütte. Die Hütte gehört zu dem von der EMPA betriebenen Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe. Das Netzwerk ist ein von den beteiligten Wissenschaftlern und ETH-Werkstätten selbstgebautes ausgeklügeltes System, nichts ist hier von der «Stange». Das gesamte Mess-System ist voll automatisiert; wann die Kammern auf oder zu gehen, wird durch den Computer gesteuert. Der Postdoc Patrick Sturm vom Isocycle-Team (siehe Kasten, Seite 13) hat diesen Computer so programmiert, dass er dem Kammer-Mess-System sowie den Laserspektrometern genau vorgibt, wann sich etwa eine Kammer schliessen soll und wann die Laserspektrometer welche Isotope messen müssen. Verteilerkästen und Schläuche für den Lufttransport sind beheizt, damit der Wasserdampf der Luft in den Schläuchen nicht kondensiert. Auch das könnte die Messwerte verfälschen.

In der Waldhütte, September 2010

Zu selben Zeit messen die Laserspektrometer in der Hütte alle fünf Sekunden aus der angesaugten Luft die natürlich vorkommenden stabilen Isotope Kohlenstoff 13 (¹³C) und Sauerstoff 18 (¹⁸O) in Kohlendioxid. Im Wasserdampf messen sie zudem die stabilen Isotope 18O und Deuterium. Die Forscher nutzen diese Isotope als Werkzeug, um die Mechanismen des Kohlenstoff-Kreislaufs besser verstehen zu

können. Die Isotope hinterlassen Spuren in der Pflanze, mit denen sich ihre Lebensbedingungen erforschen lassen. Während bei der Photosynthese im Blatt der Pflanze aus Kohlendioxid und Sonnenlicht Zucker für die Pflanze gebildet wird, bevorzugen die Pflanzen CO₂-Moleküle mit dem leichteren ¹²C-Isotop. Das schwerere Isotop ¹³C, das ein Neutron mehr in seinem Atomkern hat, wird deshalb seltener eingebaut. Wie stark das Blatt die schwereren Isotope für seine Nahrungsbildung nutzt, hängt unter anderem von den Umweltbedingungen ab. Ist es heiss und trocken, schliesst das Blatt seine Spaltöffnungen, um möglichst wenig Wasser zu verdunsten. Dabei wird es aber weniger wählerisch bei der Nahrungproduktion und baut deshalb auch schwerere Isotope ein. Findet sich ungewöhnlich viel ¹³C in einem Jahresring eines Baumes, ist das ein Hinweis auf ein besonders trockenes Jahr. «Aber auch unter normalen Bedingungen, kann der ¹³C-Anteil im Pflanzen-Kohlenstoff ein Indiz für physiologische Vorgänge in der Pflanze sein», erklärt Lydia Gentsch. «Derartige Schwankungen in der Isotopensignatur, ihre Grössenordnungen und Häufigkeit, sind in Feldversuchen bisher kaum untersucht worden.»

Gemessen wird von den Forschern auch die Isotopensignatur von Wasserstoff und Sauerstoff im Wasserdampf der Luft. Auch hier wollen sie wissen, wann und warum sich das



Messinstallation am Baumstamm und im Waldboden.



Postdoc Patrick Sturm überprüft in der Hütte die Messwerte.

schwerere Sauerstoffmolekül im Blattwasser anreicht und bei der Photosynthese aus dem Blattwasser aufgenommen wird. Auf dem Bildschirm in der Holzbaracke werden die Messungen wie eine stufenförmige Fieberkurve sichtbar. Mit dem Cursor der Maus zeigt Lydia Gentsch auf eine Stelle: «Hier öffnet sich gerade eine Bodenkammer, während da» – sie zeigt auf ein anderes Fenster am Bildschirm – «eine der Astkammern misst.» Die Forscherin tippt mit dem Zeigefinger auf die Kurve, die plötzlich nach unten ausschwenkt. «Nachdem sich die Astkammer geschlossen hat, nimmt das Kohlendioxid mit dem ^{12}C ab.» Es wird durch die Photosynthese zu Zucker verarbeitet. ^{13}C bleibt zurück, das Kohlenstoffverhältnis von ^{13}C zu ^{12}C in den Zuckern im Blatt wird dadurch kleiner als das der Umgebungsluft. Die Messungen zeigen deshalb im Tagesgang charakteristische Isotopensignaturen.

Im Büro in Zürich, Januar 2011:

Lydia Gentsch hat die ersten Daten ausgewertet. Was für Laien bunte Kurven sind, offenbart der Wissenschaftlerin überraschende Details. So konnte sie berechnen, wie stark Pflanzen während einer bestimmten Messphase durch Photosynthese assimiliert, also Zucker gebildet, oder Kohlenstoff wieder abgegeben haben. Die Kurven zeigen, dass die Blätter nicht nur – wie erwartet – im Tagesverlauf unterschiedlich stark Photosynthese betreiben, son-

dern auch einen typischen Tagesgang in der ^{13}C -Aufnahme der Blätter aufweisen. In den handgesammelten Blattproben lässt sich ein ähnlicher Tagesgang im ^{13}C -Gehalt verfolgen. Die Daten zu interpretieren und eine Erklärung für den unterschiedlichen Tagesgang zu finden, wird eine der nächsten Aufgaben der Wissenschaftlerin sein.

«Wenn etwa die Stärke der ^{13}C -Aufnahme mit den gemessenen Umweltparametern erklärbar wäre, wäre das natürlich ideal», sagt Gentsch. «Doch so einfach wird es nicht werden, weil Pflanzen, wie alle Lebewesen, ihre physiologischen Prozesse aktiv regulieren.» Der «Kabelwald» wird die junge Forscherin daher so schnell nicht loslassen.

Projekt Isocycle

Das Forschungsprojekt wurde von Alexander Knohl, Assistenzprofessor an der ETH Zürich, mit einem Marie Curie Excellence Grant der Europäischen Kommission initiiert. Das Projekt erforscht den elementaren Prozess im Stoffwechselkreislauf des Wald-Ökosystems: den Kohlenstoffkreislauf. Untersucht wird hierfür die CO_2 -Aufnahme von Pflanzen an Buchen sowie die CO_2 -Abgabe durch Pflanzen, Baumstämme und den Boden. Am Projekt beteiligt sind neben Lydia Gentsch der Doktorand Matthias Barthel, die Postdocs Patrick Sturm und Albin Hammerle sowie weitere Mitarbeiter der Gruppen Terrestrische Ökosystemphysiologie und Graslandwissenschaften.

→ www.tep.ethz.ch/research



Roboter – die cleveren Helfer

Christine Heidemann

Sie kochen Kaffee, melken Kühe und mähen Rasen. Sie arbeiten als Lehrer, Schauspieler und Therapeut. Erkunden feindliches Terrain, unwegsames Gelände und entfernte Planeten: Roboter sind die heimlichen Helden unseres Alltags. Fast unmerklich sind sie aus den Laboren der Robotikforscher in unser Leben getreten, um uns monotone und gefährliche Arbeiten abzunehmen oder dorthin zu gehen, wo wir nicht hinkommen.

Science-Fiction? Nein. Tatsächlich suchten Roboter bereits in den Trümmern des World Trade Center nach Verschütteten. Sind als Späher im Irak und in Afghanistan im Einsatz. Und sie springen dort ein, wo die Gesellschaft personell an ihre Grenzen stösst, etwa in der Altenpflege. Oftmals wissen wir gar nicht, dass wir von ihnen umgeben sind: Wer denkt schon bei automatischen Abstandsreglern im Auto an Roboter?

Manche von ihnen sind so winzig, dass der Betrachter sie mit blossen Augen nicht zu erkennen vermag. Andere sehen dem Menschen so ähnlich, dass es schon unheimlich ist. Doch ob wir wollen oder nicht: Wir müssen uns mit ihnen anfreunden. Denn wir brauchen sie längst nicht mehr nur in der Industrie, als unermüdliche Arbeiter, die am Fließband stur nach Plan schrauben und schweissen. Gefragt sind heute flexible, dynamische Service-Maschinen, die wie der Mensch auf Unvorhergesehenes reagieren können und eine gewisse Intelligenz aufweisen. Hier fängt der wirklich spannende Teil der Robotik an – jener Bereich, der auch im Fokus dieser Ausgabe steht.

Chirurg und Partnerersatz

Knapp 80 000 gewerblich genutzte Serviceroboter sind zurzeit weltweit im Einsatz. Sie inspizieren Turbinen, führen minimalinvasive chirurgische Eingriffe durch oder suchen nach Minen. In zwei Jahren sollen es doppelt so viele sein. Im privaten Bereich kriechen, rollen oder staksen bereits heute zig Millionen als autonome Staubsauger, Rasenmäher, Spielzeug oder Lernhilfe durch unsere Haushalte. Selbst als Partnerersatz sind die Maschinenwesen mittlerweile zu haben.

Von Sklavenarbeit kann daher bei den Tätigkeiten der blechnen Serviceangestellten nur bedingt die Rede sein. Auch wenn genau das die eigentliche Bedeutung des Wortes Roboter ist – von tschechisch *Robota* für Fronarbeit und *Robotnik* für Sklave. Geprägt hat es Anfang des 20. Jahrhunderts der tschechische Autor Karel Čapek. Er schrieb das Theaterstück «R.U.R.» (Rossum's Universal Robot), in dem intelligente Maschinen, von Menschen als Arbeitskräfte erschaffen, gegen ihre Schöpfer rebellieren und die menschliche Kultur auslöschen. Karel Čapek nannte diese Maschinen Roboter.

Doch schon lange vor Čapeks Zeit träumten Menschen von roboterartigen Wesen. So baute bereits Hephaistos, der Gott des Feuers und der

Der ETH-Roboter «Europa» bei einer Testfahrt durch den Zürcher Hauptbahnhof. Passanten sollen ihn eines Tages als Tourguide oder flexiblen Helfer nutzen, indem sie ihm per Touchscreen Anweisungen geben. Der Weg zum nächsten Bankomaten? Für «Europa» in Zukunft kein Problem: Er fährt voraus – und trägt bei Bedarf auch noch die schweren Einkaufstaschen.

(Bild: Roland Tännler)

Schmiede in der griechischen Mythologie, künstliche Dienerinnen aus Gold. Im letzten Jahrhundert traten Roboter dann vor allem in der Fantasy- und Science-Fiction-Welt immer wieder als Protagonisten auf und wurden weltweit berühmt – wie etwa der Droide «R2-D2» aus dem Weltraumepos «Star Wars», der wie ein Mechaniker Raumschiffe reparieren konnte.

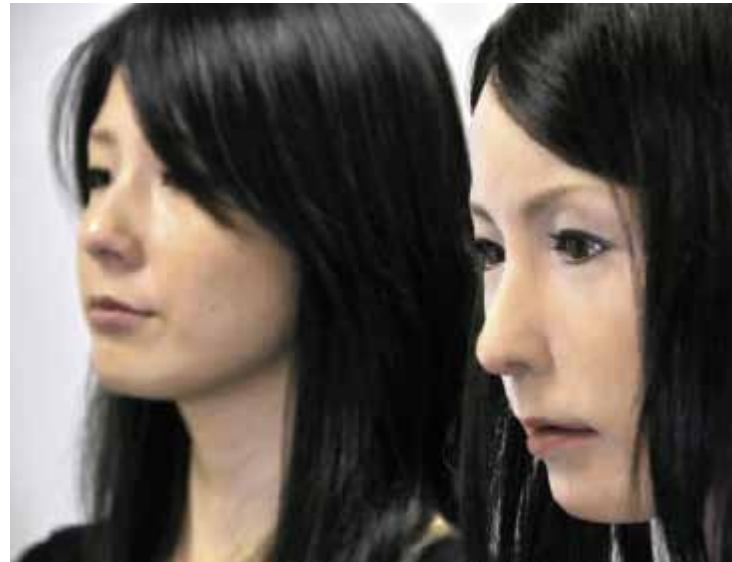
Jede Kultur hat ihre Roboter

Doch auch die für die reale Welt erschaffenen Roboter haben mitunter Kultstatus. Insbesondere in Asien, wo die Gesellschaft die wenigsten Berührungsängste mit den Maschinenwesen hat. So eroberte beispielsweise die Kuschel-Roboterrobbe «Paro» von Japan aus weltweit die Altenheime. Mit ihren grossen beweglichen Augen, dem flauschigen Fell und ihrem herzerreissenden Wimmern lindert sie – das ergaben Studien – Stress, Langeweile und Einsamkeit: Der Roboter als Therapeut und Familienersatz in einem.

Seit kurzem sind Roboter sogar in der darstellenden Kunst zu Hause. So erschuf etwa der berühmte Robotiker Hiroshi Ishiguro von der Osaka University für ein Theaterstück die lebensechte Schauspielerin «Geminoid F». Zuvor hatte er sich bereits selbst ein Ebenbild gebaut – einen androiden Zwilling aus Metall und Latex, den er gerne, als Vertretung für sich, zu Vorlesungen und Meetings schickt. Und koreanische Schüler werden seit neuestem von elektronisch gesteuerten Lehrerinnen unterrichtet.

Überhaupt können Roboter für Asiaten gar nicht menschlich genug sein. Und so tüfteln Robotikforscher dort auch verstärkt an humanoiden Exemplaren. In den USA dagegen steht das Thema künstliche Intelligenz ganz oben auf der Forschungsagenda. An berühmten Hochschulen wie der Stanford University oder dem Massachusetts Institute of Technology findet die Robotikforschung daher vor allem in den Labors für künstliche Intelligenz statt.

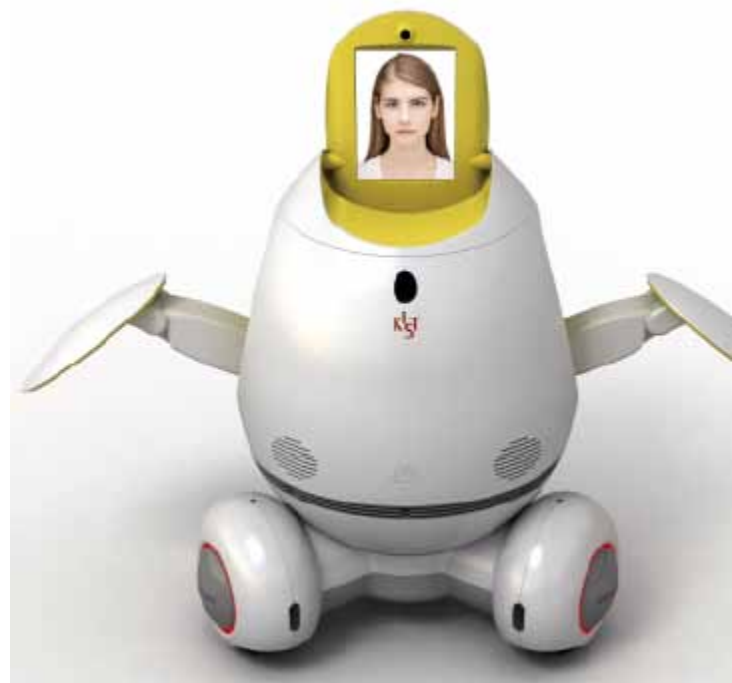
Ganz anders dagegen an der ETH Zürich: Hier haben sich die Robotikingenieure vor allem auf das Design von Robotersystemen spezialisiert. Dabei steht die Funktion der Maschine im Mittelpunkt und weniger ihr Aussehen. Das scheint europäischen Nutzern ohnehin nicht so wichtig zu sein, wie eine aktuelle Umfrage der ETH zeigt: Roboter müssen nicht menschlich daherkommen – Hauptsache sie erfüllen ihren Zweck. Und das tun sie auf vielfältigste Weise, wie ein Blick in die Labore des Instituts für Robotik und Intelligente Systeme der ETH eindrucksvoll zeigt. ETH Globe schaut den Experten im Folgenden über die Schulter und fragt einen der renommiertesten Robotikforscher Europas nach seinen Visionen – ein spannender Ausflug in die Welt der Roboter von heute und morgen.



1



2



3



4



5

Roboter sind unter uns – in fast allen Formen, Funktionen und Lebenssituationen: Als Schauspielerin «Geminoid F» in Japan (1, rechts, mit ihrem menschlichen Vorbild), unverwundbarer Minensucher in Afghanistan (2), Englischlehrerin in Korea (3), Roboterrennwagen beim «DARPA Urban Challenge» in den USA (4) oder Robonaut im All (5, links).

(Bilder: Osaka University and ATR [1]; getty images [2]; Korea Institute of Science and Technology (KIST) [3]; Stanford Racing Team [4]; Nasa [5])



Dieser Splitter ist ein Mikroroboter. Er wandert ins Auge und gibt dort gezielt Medikamente ab. (Bild: Roland Tännler)

Winzlinge auf Visite

Früher bauten Ingenieure in erster Linie Brücken und andere Monumentalbauwerke. Heute bauen sie Maschinen im Mikro- und Nanometermassstab. Die dabei entstehenden Miniroboter könnten eines Tages die Medizin revolutionieren.

Samuel Schläfli

Der nur wenige Mikrometer grosse Roboter hat eine abenteuerliche Mission vor sich. Sie beginnt in der Harnröhre. Von dort aus schwimmt der Winzling, bis er eine weite Lichtung erreicht: die Blase. Er durchquert einen Grossteil des Blasen Hohlräume und trifft als Nächstes auf die schräg davon abgehenden Harnleiter. Daran entlang driftet er in die Niere – um dort mit seiner Ultraschallkanone den angepeilten Nierenstein zu zertrümmern. Mission erfüllt.

So oder ähnlich stellen sich Robotiker heute die Medizin der Zukunft vor. Miniroboter, die mit dem blossen Auge kaum mehr sichtbar sind, könnten einst eine Alternative zu invasiven chirurgischen oder katheterbasierten Eingriffen bieten. Und sie könnten an Orte im Körper vorstossen, die Chirurgen heute mit ihren Werkzeugen nicht erreichen – zum Beispiel ins Hirn. Dazu würden sie ins Rückenmark eingespritzt und sich entlang der Wirbelsäule Richtung Kopf bewegen.

Abgesehen von den Sicherheitsanforderungen, die ein solcher Roboter erfüllen müsste, sind die physikalischen Herausforderungen auf dem Weg durch den Körper enorm: «Wenn wir Roboter auf der Mikroskala entwickeln, bleibt zwar die grundlegende Physik zur Steuerung dieselbe, doch die Bedeutung von einzelnen Effekten, wie Viskosität und Elektrostatik, verändert sich stark», sagt Bradley Nelson. Seit 14 Jahren beschäftigt sich der gebürtige Amerikaner mit Mikrorobotik. 2002 kam er als

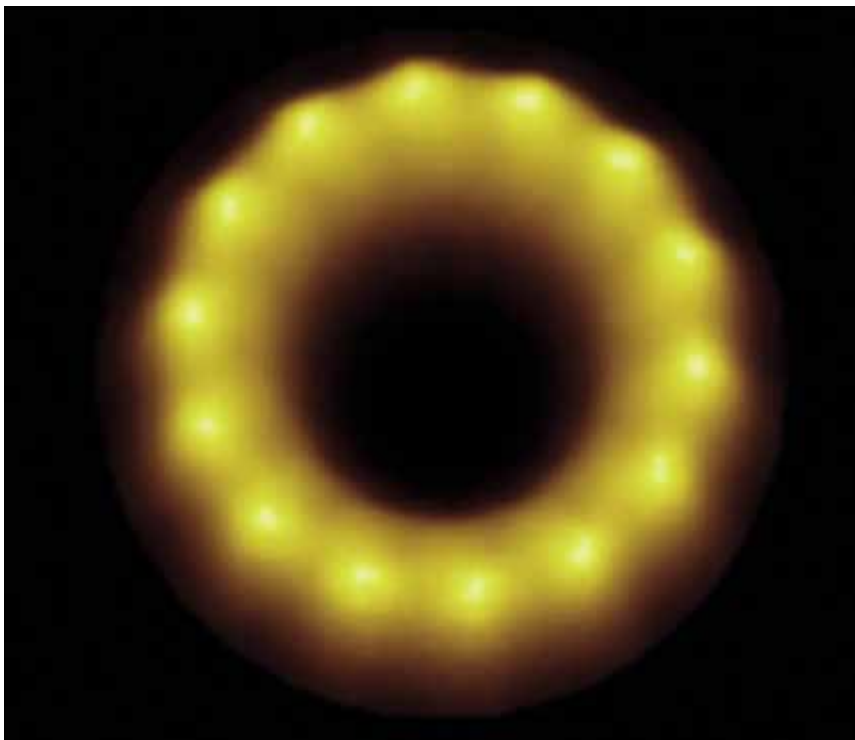
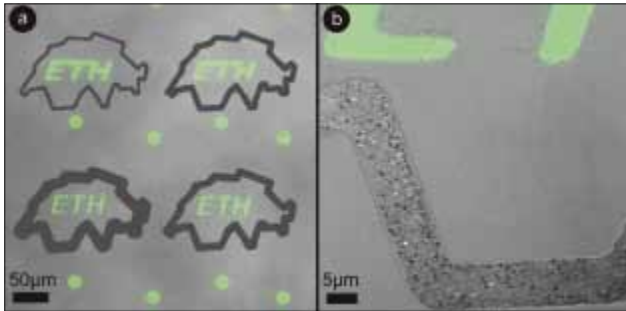
Professor für Robotik und Intelligente Systeme an die ETH Zürich und baute ein interdisziplinäres Team aus Ingenieuren, Computerwissenschaftlern, Biologen und Chemikern auf. Er bezeichnet sich selbst als Ingenieur; seine Arbeit soll der Lösung von praktischen Problemen dienen.

Wirkstoffe durch den Augapfel manövrieren

Nelson ist überzeugt: «Die ersten Anwendungen von Minirobotern werden in der Medizin liegen und sie werden speziell bei Augenkrankheiten zum Einsatz kommen.» Ein Teil seiner 25-köpfigen Gruppe optimiert zurzeit einen Miniroboter, der Chirurgen bei der Behandlung von altersbedingter Makuladegeneration (AMD) unterstützen soll. Die Krankheit ist heute in Industriestaaten für die meisten Erblindungen ab dem 50. Altersjahr verantwortlich. 30 Millionen Menschen sind davon betroffen. Der berühmteste Wirkstoff gegen AMD, Lucentis, wird direkt ins Auge gespritzt und entfaltet während mehrerer Monaten seine Wirkung; unspezifisch und mehr oder weniger effizient. Zu grosse Dosen erhöhen jedoch den Augendruck und führen damit zu ungewollten Nebenwirkungen. Die Heilungschancen wären besser und die Risiken tiefer, könnte man den Wirkstoff lokal an der beschädigten Stelle auf der Netzhaut abgeben. Vor vier Jahren hat Nelsons Gruppe erstmals ein System präsentiert, mit dem sich pharmazeutische

Wirkstoffe in einzelne Augenärdchen einspritzen lassen. Gesteuert werden die Miniroboter – winzige, mit dem Auge kaum sichtbare Kobalt-/Nickelsplitter – über magnetische Felder, die ausserhalb des Auges angelegt werden. Im Labor des Wissenschaftlers sieht das dann wie folgt aus: Ein Kunststoffauge oder ein frisch vom Metzger zur Verfügung gestelltes Kuhauge wird unter einem Mikroskop eingespannt. Darum sind acht kupferne Magnetspulen angeordnet. Nachdem der Miniroboter ins Auge eingespritzt ist, können die Forscher ihn dann über die Richtung und den Gradienten des Magnetfeldes steuern.

Die Steuerung haben die Forscher mittlerweile im Griff. Doch sind noch viele Fragen bezüglich der Biokompatibilität ungeklärt. Wie verträglich ist so ein Splitter im Auge? Das ist besonders von Bedeutung, wenn die Metallsplitter über mehrere Monate in der Nähe der «Macula lutea», dem Punkt des «schärfsten» Sehens, auf der Netzhaut bleiben sollen, um den geladenen Wirkstoff in Intervallen abzugeben. Bei der Auswahl an biokompatiblen Materialien sind die Forscher allerdings stark eingeschränkt. Sie müssen genügend magnetisch sein, damit der Roboter noch extern gesteuert werden kann. Ein interner Antrieb über Batterien ist keine Alternative. Sie könnten in dieser Grösse viel zu wenig Energie für die Steuerung liefern. Deshalb sucht ein Teil von Nelsons Gruppe nach anderen potenziellen «Motoren» im Mikrometermassstab. Dabei lassen sich die Wissenschaftler von Mikroorganismen inspirieren. Schliesslich haben diese, um ihr Überleben im Wettstreit der Arten zu sichern, Techniken entwickelt, um sich mit einem Minimum an Energieaufwand fortbewegen zu können. So stiessen die Forscher beim Studium von Bakterien auf Flagellen, eine Art Schwanz, mit dem Bakterien mittels Ringelbewegungen durch Zellflüssigkeiten schwimmen: «Als wir die Fluidynamik dieser Flagellen genauer be-



Blicke in die Nanowelt

(Bild oben) Dass das Beladen und Entladen von «molecular shuttles» funktioniert, bewies Viola Vogel gemeinsam mit ihrer Doktorandin Claudia Schmidt auf einer Glasplatte von wenigen Quadratmikrometern. Entlang der Grenze einer aufgezeichneten Schweizer Landkarte platzierten sie Goldnanopartikel. «Molecular shuttles» transferierten die Partikel danach quer durch die Schweiz und luden sie an der imaginären Stelle der ETH ab. (Bild: Viola Vogel)

(Bild unten) Aufnahme des protonengetriebenen Rotors der ATP-Synthase aus Spinat. Der Rotor nutzt die Energie des Protonengefälles, um sich mechanisch zu drehen, und treibt so andere Prozesse in der Zelle an. Der Rotor hat einen äusseren Durchmesser von circa sechs Nanometern. (Bild: Daniel Müller)

obachteten, realisierten wir plötzlich, wie effizient dieser Motor für die Fortbewegung von winzigen Teilen in Flüssigkeiten ist», sagt Bradley Nelson begeistert. Noch können die Forscher zwar keinen 45-Nanometer-Motor bauen, mit dem das Bakterium seinen Schwanz bewegt. Aber mit Halbleitermetallen konnten sie Geisseln von 25 bis 60 Nanometer Grösse nachbauen. Wird an deren Ende ein Stück magnetisches Nickel aufgedampft und ein externes rotierendes Magnetfeld angelegt, so beginnt sich die Spirale zu drehen und der Körper schwimmt. Mit den zuvor beschriebenen Magnetspulen kann der winzige Körper dann durch Flüssigkeiten gesteuert werden. Und das mit wesentlich schwächeren Magnetfeldern als beim Kobalt-/Nickelsplitter. In Zukunft könnten Schwärme von künstlichen Geisseln mit Wirkstoffen beladen an die Stelle der Anwendung – zum Beispiel im Auge – manövriert werden, so die Vorstellung der Wissenschaftler. Für Halbleitermetalle haben sich Nelson und sein Team deshalb entschieden, weil man deren Verarbeitungsprozesse im Nanometerbereich am besten beherrscht. Für die Verträglichkeit im Körper wären jedoch beispielsweise Kunststoffe besser geeignet. Daran arbeiten die Wissenschaftler zurzeit, mit der Hoffnung, das System in zwei bis drei Jahren erstmals im Tierversuch testen zu können.

SBB Cargo auf der Nanoskala

Während Forscher in den vergangenen Jahren beim Engineering von Mikrorobotern und deren Motoren erste Erfolge erzielten, steht man auf der Nanoskala noch ziemlich am Anfang. Je kleiner Roboter und deren Motoren sein sollen, desto stärker sind Wissenschaftler auf bereits bestehende Bausteine und Prinzipien aus der Natur angewiesen. Viola Vogel, Professorin am Institut für Biologisch-Orientierte Materialwissenschaften, extrahiert deshalb für das Engineering von Nanorobotern «Motoren» aus biologischen Zellen. «Millionen von biochemischen Nanomotoren treiben den Menschen und alles andere Leben auf der Erde an», erklärt Vogel. Die Energieproduktion verläuft dabei über die Spaltung von Adenosintriphosphat (ATP) mit Wasser (Hydrolyse), wobei chemische in mechanische Energie umgewandelt wird. Unser Körper nutzt solche Motoren, um für das Leben notwendige Biomoleküle

wie DNS oder Proteine aufzubauen. Gleichzeitig transportieren sie lebensnotwendige Stoffe innerhalb der Zelle mit enormer zeitlicher und räumlicher Präzision. Vogels Gruppe extrahiert solche Motoren – Moleküle von circa 70 Nanometer Länge – aus Rinderhirnen, da sie besonders in Nervengewebe in hoher Konzentration vorkommen.

Im Juli des vergangenen Jahres präsentierte die Wissenschaftlerin eine mögliche Anwendung der extrahierten Biomotoren in einem Hybridsystem: Mit sogenannten «molecular shuttles» gelang Vogel der Transport von 40 Nanometer grossen Goldkugeln. Dafür präparierte ihre Gruppe eine Art Teppich aus zuvor isolierten Motorproteinen, sogenannten Kinesinen. Diese werden durch chemische Energie angetrieben, die bei der Hydrolyse von ATP frei wird. Mit der mechanischen Kraft der Motorproteine wurden Mikrotubuli über den Teppich befördert. An einer speziell präparierten Lade-Station fassten sich diese einen Goldpartikel und gaben ihn bei einer Abladestation wieder ab. Der Auflade- und Ablademechanismus beruht dabei auf zwei DNS-Strängen, die wie Hände ineinandergreifen. Vogels Gruppe hat es geschafft, die DNS genau so zu manipulieren, dass die Hände sich im richtigen Moment festhalten und rechtzeitig wieder loslassen. Damit das funktioniert, mussten die Forscher zuvor die Dynamik und Kinetik des Auf- und Ablademechanismus bis ins Detail verstehen und die nötigen Kräfte der Bindungen exakt berechnen.

«SBB Cargo auf der Nanometerskala», beschreibt Vogel das System. Zukünftig könnten mit solchen Nanofliessbändern ganze Fabrikationsketten von wenigen Nanometern Grösse aufgebaut werden, glauben die Forscher. Eine weitere Idee ist der Aufbau von sich selbst konstruierenden oder «selbsteilenden» Robotern. Die Fließbänder könnten aus Depots synthetische Bausteine selbständig an Zielorte transportieren, zum Beispiel an defekte Stellen, um Materialien zu reparieren. «Die Physik der Nanomotoren verstehen wir mittlerweile relativ gut. Welche Moleküle sich jedoch für bestimmte Anwendungen am besten eignen, das ist noch grösstenteils unklar», sagt Vogel. Um sich zu neuen Ideen inspirieren zu lassen, verfolgen sie und ihr Team die aktuelle Literatur aus Physik, Chemie und Biologie.

Der Doktor in der Nanozelle

Vielversprechende Impulse für die Nanorobotik kommen zurzeit auch aus der synthetischen Biologie, unter anderem aus dem 2007 gegründeten Departement für Biosysteme (D-BSSE). Daniel Müller ist dort seit letztem Jahr Professor für Biophysik. Gleichzeitig leitet er das EU-Projekt «Nanocell», an dem Forscher aus ganz Europa beteiligt sind. Ziel des Projekts: der Bau eines Nanoroboters, der vollständig aus bestehenden biologischen Maschinen – jeweils nicht grösser als zwei bis fünf Nanometer – zusammengesetzt wird. Ähnlich wie Bradley Nelsons Mikroroboter sollen Müllers «Nanozellen» einst an x-beliebige Stellen im Körper manövriert werden können, um dort Medikamentwirkstoffe abzugeben, toxische Verunreinigungen abzusaugen oder bestimmte biochemische Prozesse zu aktivieren. Bausteine, die genau solche Aufgaben erfüllen, will Müller aus biologischen Zellen isolieren. «Es ergibt keinen Sinn, Maschinen im Nanometermassstab komplett neu zu bauen. Die Natur hat davon über Jahrtausende Hunderttausende entwickelt, die sehr viel effizienter sind als sämtliche Maschinen, die der Mensch jemals gebaut hat», erklärt Müller. Als Träger der Maschinen sollen einst sogenannte Vesikel dienen. Das sind fussballförmige Lipidblasen mit 50 bis 100 Nanometer Durchmesser, die je nach medizinischem Auftrag unterschiedlich bestückt werden. Angetrieben und gesteuert wird der Ball durch Proteorhodopsin, das von den Forschern aus dem Plankton des Meeres extrahiert wird. Dieses karotinhaltige Protein absorbiert Licht und nutzt die Energie, um Protonen innerhalb des Vesikels an energiereichere Orte zu pumpen. Dadurch entsteht ein «Protonengefälle», ähnlich einem Wassergefälle in Stauseen. Mit der aufgebauten Energie werden die «Maschinen» im Vesikel angetrieben, zum Beispiel zur Fortbewegung der Nanozelle oder zur Verrichtung von medizinischen Arbeiten. Vereinfacht kann man sich das in der Praxis dann wie folgt vorstellen: Sobald man eine Taschenlampe an diejenige Stelle am Körper hält, in welche die Nanozellen injiziert wurden, werden die Protonenpumpen angeworfen, und die winzigen Doktoren steuern Richtung Licht. Dort erledigen sie ihre vorprogrammierte Arbeit, entfernen zum Beispiel Giftstoffe oder erzeugen Wirkstoffe zur Bekämpfung ei-

ner Infektion. Wird das Licht ausgeknipst, so werden die Nanodoktoren inaktiv und vom Körper ohne schädliche Nebenprodukte abgebaut. So weit ist man aber noch lange nicht: Während des dreijährigen EU-Projekts wird reine Grundlagenforschung betrieben. «Wir wollen die Ingenieursprinzipien erarbeiten, um damit künftig solche Zellen mit systembiologischen Werkzeugen konstruieren zu können», sagt Müller.

Die Grenzen zwischen Robotern im ursprünglichen Sinn und hochtechnologischen Medikamenten verschwinden damit zunehmend. Mikro- und Nanoroboter müssen Ansätze aus Biologie, Physik, Chemie, Materialwissenschaften und Maschinenbau kombinieren, um zu neuen Lösungen zu gelangen. Inspirieren lassen sie sich dabei von den Wundern der Evolution. Das wiederum ist nicht ganz neu: «In der ganzen Natur ist kein Lehrplatz, lauter Meisterstücke», wusste bereits Johann Peter Hebel.

- www.ethglobe.ethz.ch/microroboter
- www.ethglobe.ethz.ch/biomaterialien
- www.ethglobe.ethz.ch/gruppemueller



Kein Besuch aus dem All, sondern der Testflug eines Flugroboters, der im Autonomous Systems Lab der ETH Zürich entwickelt wurde. Er soll einmal, gemeinsam mit anderen Hexakoptern, wie die sechsrorigen Flieger heissen, ausschwärmen, um beispielsweise Grossveranstaltungen zu überwachen. (Bild: Roland Tännler)

Die autonomen Überflieger

Die Zeit der unflexiblen, stur einem Plan folgenden Roboter ist vorbei. Die Zukunft gehört selbstständigen Maschinen, die mit ihrer Umwelt interagieren, aus Erfahrungen lernen und ihr Verhalten entsprechend anpassen können. Eine enorme Herausforderung, der sich auch ETH-Ingenieure in zahlreichen Projekten stellen – mit pfiffigen Ideen, die heute schon erahnen lassen, wie Roboter künftig unser Leben verändern.

Christine Heidemann

Die Vorstellung klingt verlockend. Statt sich im Feierabendverkehr mit dem Auto durch den Stau zum nächsten Einkaufszentrum zu quälen, setzt man sich einfach in seinen kleinen privaten Helikopter, sagt ihm, wo es hingehen soll – und lässt sich fliegen.

Zukunftsmusik? Ja. Undenkbar? Nein. Denn dieser Service schwebt den beteiligten Wissenschaftlern am EU-Projekt «myCopter» vor. Sie wollen selbstständig fliegende Vehikel entwickeln, die jeder nutzen kann, um sich bequem zur Arbeit oder durch die Shoppingmeilen navigieren zu lassen. Ohne Hupen, ohne Hektik, um Strassen und den öffentlichen Nahverkehr zu entlasten.

An dem Projekt beteiligt sind neben einem britischen und drei deutschen Forschungseinrichtungen auch die EPF Lausanne und die ETH Zürich. Letztere ist vertreten durch das Autonomous Systems Lab – jenem Labor an der ETH, in dem solche selbstständigen, autonom agierenden Maschinen entwickelt und gebaut werden: Roboter, die wissen, wo sie sind, was auf sie zukommt und wie sie darauf reagieren müssen.

Schon heute sind autonome Roboter weltweit millionenfach im Einsatz. Und auch die künftigen Erwartungen an sie sind hoch: Sie sollen uns pflegen, wenn wir alt oder krank sind. Uns lästige Pflichten im Haushalt abnehmen; In-

spektionen durchführen; operieren, therapieren, unterrichten; frühzeitig vor Gefahren warnen; Bomben und Minen entschärfen oder Menschen nach Katastrophen aufspüren.

Vieles davon tun sie bereits. Doch fallen ihnen diese Aufgaben mitunter noch recht schwer. Eine Maschine agiert eben anders als ein Mensch. Und so sind Robotiker in aller Welt damit befasst, die Elektronenhirne noch schlauer zu machen. Doch wie clever und menschlich müssen, können und sollen Roboter sein?

Sicher ist: Um die an sie gestellten Erwartungen erfüllen zu können, müssen sie mit der realen Welt interagieren können. Grundvoraussetzung dafür ist, dass sie in der Lage sind, zuverlässig in einer Umgebung zu navigieren – Fähigkeiten, die auch bei «myCopter» gefragt sind. Wie die Privatflieger der Zukunft einmal sicher in einer Häuserschlucht parken können, ohne dabei gegen ein Gebäude zu krachen, darum sollen sich die Experten an der ETH kümmern. Das Team um Roland Siegwart, Robotik-Professor und Leiter des Autonomous Systems Lab, ist im Projekt zuständig für die besonders kritischen Momente: das autonome Starten und Landen der Flugobjekte.

Der optimale Pfad

Vor allem die Interaktion mit einer sich ständig ändernden Umwelt sei eine enorme Her-

ausforderung in der Robotik, sagt Martin Rufli. Der ETH-Doktorand ist der Planungsexperte im Labor. Martin Rufli sorgt dafür, dass ein autonomer Roboter möglichst schnell an ein vorgegebenes Ziel gelangt, ohne dabei einen Crash zu erleiden oder jemanden zu verletzen. Dazu programmiert er die Maschinen so, dass diese mit den Informationen, die sie laufend über ihre Sensoren wie Kameras oder Distanzmesser erhalten, richtig umgehen können. Und das ist gar nicht so einfach: Wie unterscheide ich etwa eine Person von einer Wand? Über welche Dinge kann ich drüberlaufen, über welche nicht? Probleme, die Menschen ganz selbstverständlich lösen, bereiten Robotern grosse Schwierigkeiten – vor allem draussen, in unbekanntem Terrain.

Denn im Gegensatz zur Navigation in Gebäuden, in denen die Umgebung durch gerade Wände, Türen und ebene Böden strukturiert ist, stossen Roboter im Freien auf wesentlich komplexere Hindernisse und Objekte: Die Form und Oberfläche von Bäumen oder Sträuchern etwa ist unregelmässig und verändert sich mit der Zeit. Und Einflüsse wie der Wind lassen sich nur schwer durch eindeutige mathematische Modelle beschreiben. Ausserdem gibt es von jedem Gebäude Pläne. In dichten Wäldern oder unter Wasser dagegen fehlen häufig Karten. Der Roboter hat keinen Zugang zu GPS. Um sich zurechtfinden zu können, muss er seine Position selbst bestimmen.

Eine Methode, mit der ihm dies gelingt, heisst SLAM (Simultaneous Localization And Mapping). Dabei macht sich der Roboter mit seinen Sensoren ein Bild von der Umgebung, indem er besonders auffällige Landschaftsmerkmale identifiziert und daraus eine Karte erstellt. Gleichzeitig, also simultan, schätzt er mit Hilfe eines mathematischen Modells seine eigene Position in Relation zu den kartierten Objekten. Ziel der Forscher ist es, dass der Roboter diese spezifischen Landmarken bei späteren

Einsätzen wiedererkennt und sich daran orientieren kann.

Auch «Europa», der Roboter, der auf dem Titel dieser ETH Globe-Ausgabe zu sehen ist, orientiert sich mit Hilfe eines SLAM-Moduls. Er soll dem Menschen künftig als cleverer Tourguide und flexibler Helfer dienen. Alte Damen über die Strasse geleiten, Bierkisten schleppen oder den Weg zum nächsten Bankomaten erklären: «Europa» bietet Service auf Knopfdruck, per Touchscreen.

Der etwa 1,50 Meter grosse und 50 Kilogramm schwere Roboter ist das Ergebnis eines EU-Projekts, das wie sein Protagonist «Europa» heisst. Der eher konservativ anmutende, blecherne Geselle auf Rädern ist die dominierende Erscheinung im Büro der beiden ETH-Ingenieure Rudolph Triebel und Jérôme Maye.

Zusammen mit dem Planungsexperten Martin Rufli und weiteren Teammitgliedern hauchen die zwei dem Maschinenwesen so etwas wie Intelligenz ein.

Die besondere Herausforderung hierbei: «Europa» soll sich einmal in extrem dynamischen Umgebungen zurechtfinden können. Vor allem in Fussgängerzonen, Flughafen- oder Bahnhofshallen, wo ihm ständig Menschen, Fahrräder oder Autos begegnen, die seine Algorithmen durcheinanderbringen.

Menschen verwirren den Roboter

«Er sieht plötzlich nur noch bewegte Objekte und weiss nicht mehr, was in seine Karte rein gehört und was nicht», schildert Rudolph Triebel das Problem. Vor allem, wenn ein Mensch längere Zeit steht, etwa vor einem Schaufen-

ster, registriert ihn der Roboter als Wand – und schon stimmt seine Karte nicht mehr. Er muss also lernen, Menschen richtig zu erkennen und einzuschätzen, in welche Richtung sie laufen, damit er nicht mit ihnen kollidiert.

Noch allerdings rollt «Europa» fast ausschliesslich durch die Labore im Autonomous Systems Lab. Dabei testen die ETH-Ingenieure unter anderem eine neue Sensor-Kombination aus drei Kameras, einem 3-D-Laser und drei 2-D-Lasern – von denen es einer «Europa» sogar ermöglicht, nach hinten zu schauen. «Der Roboter kann das, was er mit den Kameras gesehen hat, im Laser-Scan weiterverfolgen und sehen, wohin ein Mensch geht», erklärt Rudolph Triebel. Zugleich kann er mit Hilfe eines speziellen Algorithmus über mehrere Sekunden vorausberechnen, wohin sich zuvor detektierte Menschen weiter fortbewegen könnten – und ihnen dann entsprechend ausweichen. Dazu nutzt er deren Blickrichtung oder bisherigen Weg als Input.

Auch soll der blecherne Tourguide lernen, welches die für seine Fahrplanung wichtigen Objekte sind und wo sie sich befinden. Zum Beispiel Ampeln, Bordsteinkanten oder Zebrastrassen.

Registriert er etwa mit seinen Sensoren in einem Planquadrat seiner Karte besonders starke Ströme von Fussgängern, dann soll er daraus den Schluss ziehen: Ich muss dort über die Strasse gehen, wo alle gehen. Unwichtiges und Fehler dagegen soll «Europa» wieder aus seinem Elektronenhirn streichen. Denn, sagt Rudolph Triebel, «auch ein Roboter muss vergessen können». Sonst muss er Fehlinformationen später unnötig korrigieren.

«Wir versuchen möglichst viel Intelligenz in ihn reinzustecken, damit er von den Nutzern akzeptiert wird», ergänzt Jérôme Maye. Exemplare, die zum Beispiel lediglich Kaffee kochen könnten, würden schnell als langweilig abgestempelt. Je mehr Grips, umso attraktiver.

Funktion vor Schönheit

Das Aussehen ihrer Servicemaschinen legen die Zürcher Ingenieure dabei vor allem über die zu erfüllende Aufgabe fest. «Wir versuchen immer, das Design unserer Robotersysteme über deren Funktion zu definieren», beschreibt Labor-Chef Roland Siegwart die ETH-Philosophie beim Bau von autonomen



So könnte das private Fortbewegungsmittel der Zukunft aussehen: Im EU-Projekt «mycopter» tüfteln Wissenschaftler an Flugobjekten, die ihre Nutzer eines Tages selbstständig zur Arbeit oder zum Einkaufsbummel fliegen könnten.

(Bild: Prof. Gareth Padfield, Flight Stability and Control)

Robotern. Und damit liegen die Forscher zumindest in Europa richtig. Denn Europäer haben laut Umfragen im Gegensatz zu Japanern kein so grosses Faible für humanoide Roboter. Hauptsache, die Maschinen erfüllen ihren Zweck.

An einem für ihre Anforderungen optimalen Design tüfteln auch die Flugroboter-Experten in den Nachbarbüros des «Europa»-Teams. Sie entwickeln unter anderem autonome Mini-Helikopter, die als künstliche Inspektoren beispielsweise die Brennkammern von Kohlekraftwerken auf Defekte untersuchen sollen. Denn Inspektionen in Kraftwerken sind arbeitsintensiv und teuer; ein klassisches Beispiel für die zukünftigen Aufgabenfelder der künstlichen Arbeiter – und die enormen Anforderungen an ihre Konstrukteure.

«Wir wollen erstmals demonstrieren, dass ein Helikopter kontrolliert mit einer Oberfläche in Kontakt treten kann», beschreibt Doktorand Christoph Hürzeler die besondere Herausforderung beim EU-Projekt «AIRobots». Denn um Brennkammern mit speziellen Sensoren auf Risse untersuchen zu können, müssen die Roboter ganz nah an die Kammern heranfliegen. Diesen kontrollierten Anflug versuchen Christoph Hürzeler und seine Kollegen mit sogenannten Koaxial-Helikoptern zu bewerkstelligen – das sind Helikopter mit zwei übereinander montierten, gegenläufigen Rotoren. Die sollen den fliegenden Inspektoren die nötige Ruhe und Stabilität verleihen.

Intelligente Drohnen-Schwärme

Eine wiederum andere Form der Maschinen-Intelligenz ist bei den Kollegen des europäischen Projekts «sFly» gefragt. Es geht darum, Mini-Helikopter dazu zu befähigen, als Drohnen-Schwarm etwa Grossveranstaltungen zu überwachen oder Informationen über das Ausmass von Katastrophen zu liefern. Die «sFly»-Hexakopter mit ihren sechs winzigen Rotoren erinnern eher an fliegende Untertassen als an Helikopter. Denn sie müssen nicht nur klein, sondern zugleich flach und leicht sein, damit sie in Städten auch im Tiefflug durch enge Passagen manövrieren können. Daher haben sie aus Gewichtsgründen, im Gegensatz zu grösseren Robotern, keinen Distanzsensor an Bord, sondern sind lediglich mit einer kleinen Kamera bestückt. Die Entfer-



Der an der ETH entwickelte Vierbeiner a.i.f. (autonomer Laufroboter mit Federn) bei einem Praxistest in einem Krater auf Teneriffa. Solche mobilen Maschinen sollen eines Tages zum Beispiel den Mars erkunden. Zum Schutz gegen Staub trägt der Roboter Manschetten.

nung zu möglichen Hindernissen oder Objekten müssen die fliegenden Untertassen daher allein mit Hilfe der Kamerainformationen berechnen. Ausserdem sollen sie später einmal entweder miteinander und/oder mit einer Basisstation kommunizieren, um ihren Auftraggebern möglichst schnell und exakt die gewünschten Daten zu liefern. Doch wie viele Mini-Helis braucht es, um eine möglichst optimale Abdeckung des untersuchten Gebiets zu gewährleisten? Wie reagiert das System auf wechselnde Lichtverhältnisse? Das sind nur zwei der Fragen, die die «sFly»-Experten im kommenden Jahr beantworten wollen.

Am Schreibtisch nebenan bereitet sich Stefan Leutenegger unterdessen auf einen längeren Einsatz vor: Der ETH-Doktorand und zweimalige Schweizer Segelflugmeister entwickelt einen autonomen Solar-Flieger in Modellflugzeuggrösse, der eines Tages, von der Sonne angetrieben, Tag und Nacht nach verunglückten Menschen suchen oder waldbrandgefährdete Gebiete überwachen könnte.

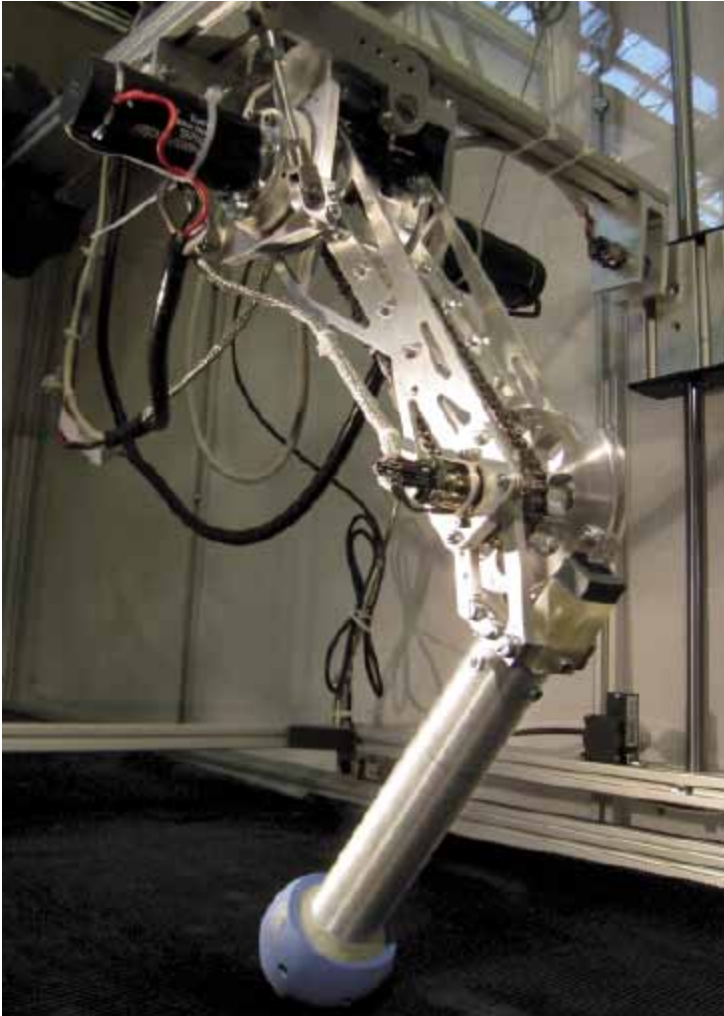
Auch Stefan Leutenegger will seinen Roboter, wie er sagt, intelligenter machen. Unter anderem mit einer Wärmebildkamera, mit welcher

der Roboter das Gelände auch nachts erkennen, Hindernissen ausweichen und zugleich Feuerherde oder Personen frühzeitig identifizieren kann.

Dem Roboter Beine machen

Ein paar Büros weiter läuft ein Bein in einem Glaskasten auf und ab. Auch hier bietet sich dem Betrachter das gleiche Bild wie in allen Räumen des Autonomous Systems Lab: Neben Computern liegen Drähte, Kabel, Stecker und Zettel, es wird probiert, montiert und justiert. In dem Fall an einem neuen, besonders flexiblen und energieeffizienten Bein für Laufroboter. Laut Labor-Chef Roland Siegwart das fortschrittlichste, elektrisch angetriebene Roboterbein der Welt.

Mit Hilfe eingebauter Federelemente, so erklären die zuständigen Experten David Remy und Marco Hutter, könne es, ähnlich den Muskeln und Sehnen eines menschlichen Beins, Energie speichern – und damit viel schneller laufen und höher springen als andere Roboterbeine. Durch das ausgeklügelte Knie- und Hüftdesign kann sich das Bein aber auch komplett zusammenfallen und ist damit bestens



Das fortschrittlichste, elektrische Roboterbein der Welt: Dank eingebauter Federelemente und eines ausgeklügelten Knie- und Hüftdesigns kann es, ähnlich den Muskeln und Sehnen eines menschlichen Beins, Energie speichern und selbst schwierige Hindernisse überwinden. (Bild: ETH Zürich)

dafür geeignet, selbst über schwierige Hindernisse zu klettern.

Und es kann sich, wie es im Fachjargon heisst, kraftgeregelt fortbewegen. Das heisst, es reagiert wie der Mensch flexibel, wenn sich der Untergrund verändert: Das sensible Bein erspürt Hindernisse und passt seine Position entsprechend an. In Kürze wollen die ETH-Forscher damit einem hundeähnlichen Laufroboter Beine machen.

Solche elastischen Gesellen könnten eines Tages auf unwegsamem Terrain Katastrophen-

hilfe leisten, Minen entschärfen oder ferne Planeten erkunden. Auch kann das Bein-Prinzip in Prothesen oder nachgiebigen Roboterarmen für die Industrie eingesetzt werden.

Das Beispiel zeigt: Roboter-Intelligenz basiert nicht nur auf ausgeklügelten Algorithmen, sondern auch auf einem möglichst perfekten Design des Roboter-Körpers. Dadurch erspart man den Maschinen viel Hirnarbeit und damit Rechenpower. Genau das ist auch das Credo der biologisch-inspirierten Robotiker. Einer ihrer berühmtesten Vertreter ist Rodney Brooks.

Er leitete bis 2008 das Labor für künstliche Intelligenz am renommierten Massachusetts Institute of Technology, kurz MIT, in Boston.

Wie sonst, wenn nicht durch ein gutes Körperdesign, so seine Argumentation, liesse sich das Verhalten von Insekten erklären, die sich trotz ihres winzigen Hirns schnell und geschickt bewegen können? Sie brauchen oft keine Karte, keine Repräsentation ihrer Umgebung, sondern handeln instinktiv. Entsprechend könnten doch auch Roboter direkt nach ihren Sensordaten handeln. Statt akribisch verschiedene mathematische Module hintereinanderschalten, baute Brooks Ende der 1980er-Jahre den ersten Roboter, dessen Verhalten durch die Interaktion vieler relativ einfacher Verhaltensmuster untereinander und mit der Umwelt entsteht – eine Methode, die noch heute für Diskussionen in der Robotiker-Gemeinde sorgt.

Von der Natur inspiriert

Im Büro direkt neben Brooks im MIT sass zwei Jahr lang Fumiya Iida. Heute leitet er als Professor das Bio-Inspired Robotics Lab der ETH Zürich. Und auch er tüftelt mit seinem Team eifrig an den Robotern der Zukunft. Der Japaner lässt sich im Gegensatz zu seinen «autonomen» Kollegen allerdings gänzlich von der Natur inspirieren. Nach dem Motto «Die Natur ist die beste Lehrmeisterin» will Fumiya Iida einerseits Roboter nach deren Vorbild effizienter gestalten. Andererseits möchte er aber auch die Natur besser verstehen, indem er deren Prinzipien mit Hilfe von Robotern abstrahiert und nachbaut.

So will er zum Beispiel Biologen dabei helfen, mehr über die Funktion von Muskeln bei der Fortbewegung zu erfahren. «Wir interessieren uns dabei nicht für das Gehen generell, sondern dafür, wie die Natur das im Detail macht.» Wofür diese Erkenntnis einmal nützlich ist, weiss Iida heute noch nicht. Im Vordergrund seiner Forschung stehe weniger die Anwendung als das Verständnis, das Ausprobieren: Grundlagenforschung, die mitunter auf den ersten Blick ein bisschen verrückt anmutet, schmunzelt Fumiya Iida.

Denn der Ingenieur hat eine fantastische Vision: Er möchte selbstständig wachsende und sich selbst reproduzierende Maschinen entwickeln. «Das ist der Heilige Gral der biologisch-

Vision: Wachstum

So wie in diesem Experiment sollen biologisch-inspirierte Roboter eines Tages «wachsen», indem sie sich mit anderen Objekten verbinden und dadurch ihre Form verändern. Der «Rüssel» besteht aus einem speziellen Kunststoff, der es ihm ermöglicht, mit jedem Teil seines «Körpers» an fast alle Dinge anzuhaften und sich wieder von ihnen zu trennen. Die Idee dahinter: Nicht nur biologische Zellen wachsen, indem sie mit anderen Zellen verschmelzen. Auch Roboter können ihren Körper stärken und besser einsetzen, wenn sie sich zum Beispiel mit Werkzeugen verbinden. (Bild: Bio-Inspired Robotics Lab / ETH Zürich)



inspirierten Robotiker», sagt Iida begeistert. Zwar sei es noch ein sehr weiter Weg, bis Roboter wirklich nach dem Vorbild der Natur wachsen und sich fortpflanzen könnten. Doch der Wissenschaftler und sein Team haben sich aufgemacht – und unter anderem kleine, vierbeinige Roboter geschaffen, die sich nicht nur, analog zu David Remy und Marco Hutter's Roboter-Bein, mit Hilfe von Federn und damit besonders energieeffizient fortbewegen. Manche haben auch eine Art Rüssel aus einem speziellen Kunststoff, der bei Zugabe von Wärme seine Form verändern kann – der erste kleine Schritt zum Wachstum.

Ein Stockwerk tiefer in Iidas Labor baut ein weiterer Roboter ein kleines ETH-Logo, aus Bausteinen, die ebenfalls mit dem «wachsen» Kunststoff ummantelt sind. Neben ihm warten weitere «Puppies» (englisch für Welpen), wie die kleinen Prototypen heissen, auf ihren Einsatz. Das E und T hat der mechanische Baumeister unter leisem Surren schon errichtet, indem er die einzelnen Bausteine aneinandergelinkt hat. «Wir wollen den Robotern damit beibringen, sich selbstständig zu reparieren und andere Roboter zu bauen», erklärt Iida. Fortpflanzung à la Science-Fiction. Doch damit Maschinen nach der Vision des ETH-Professors autonom wachsen und sich fortpflanzen können, müssen sie auch in der Lage sein, sich selbst mit Nahrung, sprich

Energie, zu versorgen. Auch daran tüfteln Fumiya Iida und sein Team. Auf einer Plattform am Boden docken hungrige Puppies an fingierte Ladestationen aus Orangensaft-Behältern an. Sie sollen lernen, immer dann ihre Erkundungstouren zu unterbrechen, wenn ihre Batterieladungen zur Neige gehen.

Mit diesen Eigenschaften ausgestattet, könnten Iidas Puppies eines Tages völlig autark zum Beispiel als Erkundungsroboter auf dem Mars leben. So viel Roboter-Autarkie dürfte manchem Menschen fast schon unheimlich sein. Doch die durch zahlreiche Fantasy- und Science-Fiction-Thriller geschürte Angst, dass autonome Roboter einmal die Macht übernehmen und uns womöglich vernichten könnten, teilen die ETH-Forscher nicht: Der grösste Feind des Menschen ist und bleibt wohl auch in Zukunft der Mensch selbst. Nur er kann einen Roboter falsch programmieren.

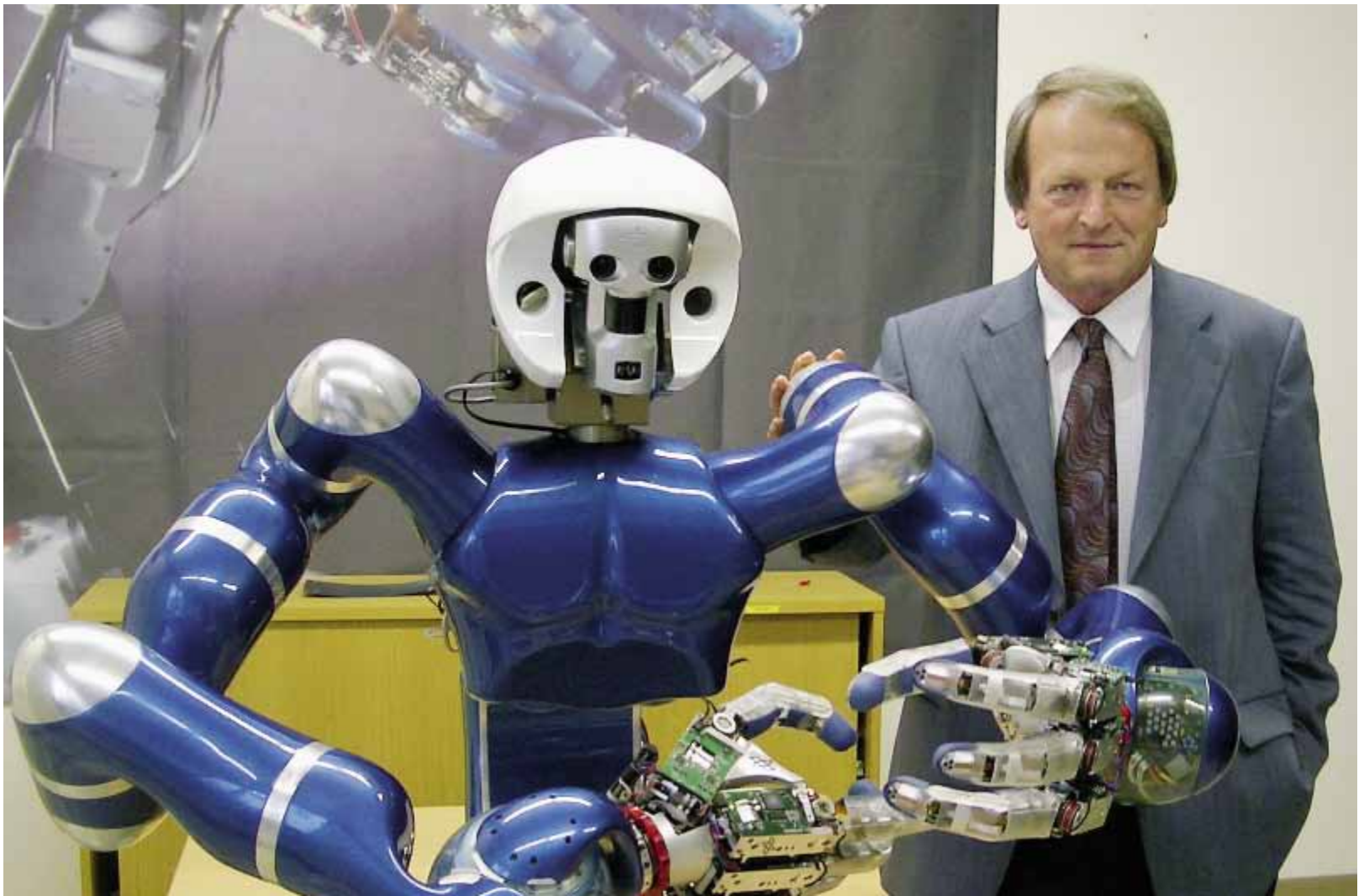
Aber natürlich, sagt Planungsspezialist Martin Ruffli, könne auch bei autonomen Maschinen etwas kaputt gehen, zum Beispiel ein Modul versagen. Dann wäre es durchaus möglich, dass ein Roboter einen Menschen nicht oder zu spät erkennt – und dies zu einem Unfall führt, ähnlich wie er zwischen zwei Menschen auch vorkommt. «Letztlich liegt es aber an der Gesellschaft zu entscheiden, wie und ob sie mit solchen potenziellen Risiken umgeht.»

Laut einer ETH-Umfrage kann sich immerhin

ein Grossteil der interviewten Europäer vorstellen, im Alter die Hilfe von Robotern in Anspruch zu nehmen. Und spätestens wenn die ersten Flieger des Projekts «myCopter» zur privaten Shoppingtour abheben, werden autonome Roboter sicherlich auch in Europa auf der Akzeptanzskala japanische Höchstwerte erreichen.

→ www.asl.ethz.ch

→ www.birl.ethz.ch



Roboter ins All!

Er ist einer der renommiertesten Robotiker Europas. 1993 schickten Gerhard Hirzinger und sein Team mit der Spacelab-D2-Mission erstmals einen von der Erde ferngesteuerten Roboter ins All, eine weltweit anerkannte Pionierleistung. ETH Globe sprach mit Gerhard Hirzinger über seine Sicht zur Gegenwart und Zukunft der Robotik.

Interview: Christine Heidemann und Martina Märki

Herr Hirzinger, hat Ihnen Justin heute schon Kaffee serviert?

Leider noch nicht. Wir haben zwar schon vor Jahren das Zubereiten von Tee demonstriert. Dafür musste Justin eine Dose öffnen, mit dem Finger Tee in ein Glas klopfen und dann Wasser darübergiessen. Aber trotzdem sind wir noch

ein Stück weit davon entfernt, ihn standardmässig im Haushalt einsetzen zu können. Dafür ist er noch etwas zu gross.

Justin ist nicht Ihr Butler, Justin ist ein Roboter, den Sie an Ihrem Institut entwickelt haben. Was soll er denn einmal können?

Justin war zunächst ein zweiarmiger Oberkörper mit zwei Händen und einem Kopf. Er hat dann einen Rumpf bekommen, mit dem er sich beugen und zur Seite drehen kann. Ausserdem bekam er eine mobile Plattform, womit er in allen Richtungen herumfährt. Er kann im Prinzip an ein Regal heranfahren und ein Tablett

Gerhard Hirzinger präsentiert den Roboter «Justin». Maschinen wie er sollen eines Tages Astronauten im Weltraum unterstützen. (Bild: DLR)

herausnehmen – im Grunde also so etwas wie servieren. Er kann inzwischen auch moderne Kaffeemaschinen bedienen, wozu man ja auch eine gewisse Fingerfertigkeit braucht.

Aber das sind nicht die eigentlichen Aufgaben, für die Justin entwickelt wird?

Im Grunde ist Justin für uns die Vorstufe zu einem Robonauten. Wir sind ja Luft- und Raumfahrtexperten und unser Kernziel ist die Entwicklung von Robotern, die mittel- und längerfristig Astronauten im Weltraum unterstützen.

Wird Justin also einmal Astronauten ersetzen?

Wir sprechen lieber von entlasten. Ersetzen – das dauert noch eine ganze Weile, bis das möglich wird. Aber es ist klar: Menschen in so einer gefährlichen Umgebung wie dem Weltraum überhaupt am Leben zu erhalten, ist eine sehr kostspielige Angelegenheit. Deshalb wird man auf Mars und Mond in Zukunft viel mit Robotern arbeiten.

Als Raumfahrtroboter hat Justin aber mächtige Konkurrenten, zum Beispiel von der NASA.

Das ist richtig. Er wird im Moment auch in amerikanischen Magazinen häufig mit dem Robonauten der NASA verglichen. Der Robonaut der NASA ist ein Oberkörper mit zwei Armen, zwei Händen und Kopf. Er ist Ende Februar mit der Raumfähre «Discovery», zur Raumstation ISS geflogen und soll dort ein paar sinnvolle Dinge zu tun. Das werden sicher nur einfache Aktionen sein, aber immerhin ist das der in der internationalen Presse derzeit am meisten zitierte humanoide Oberkörper mit Händen und Kopf.

Bis Ende letzten Jahres war ja der an Ihrem Institut entwickelte Roboterarm ROKVISS an der internationalen Raumstation ISS montiert. Welche Erfahrungen haben Sie damit gemacht?

ROKVISS war ein zweigelenkiges Ärmchen, also noch kein sechsachsiger Roboter. Lange vorher, nämlich 1993, haben wir bereits einen kleinen sechsachsigen, also fast normalen Roboter im Inneren der Columbia-Raumfähre ins All hochgeschickt. Der ROKVISS-Arm dagegen war über fünf Jahre im freien Weltraum. Wir haben damit die Weltraumtauglichkeit unserer Leichtbauantriebe getestet. Wir wollten

wissen, ob sie die Kälte und die Strahlung, die im Weltraum existieren, aushalten. ROKVISS hat wunderbar funktioniert. Wir konnten auch Telepräsenz demonstrieren. Darunter versteht man das Agieren an einem entfernten Ort, zu dem man nicht direkt hinkommt. Wir konnten realitätsnahe Stereobild- und Krafrückkopplung demonstrieren. Das war allerdings immer nur dann möglich, wenn die Raumstation direkt über uns hinwegflog. Es gibt dann etwa sieben Minuten Kontaktzeit, während deren man sie direkt sieht und auch nur ganz geringe Signallaufzeiten, ungefähr zwanzig Millisekunden, hat. Dann kann man ganz feinfühlig mit Hilfe eines kraftreflektierenden Joysticks die Kräfte spüren, welche der Roboter oben im Weltraum auf seine Umgebung ausübt. Das war eine wichtige Vorentwicklung.

Wann werden Sie denn wieder einen Roboter ins All schicken. Wie wird er aussehen und was wird er können?

Wir könnten relativ schnell einen richtigen Roboter bauen, der in den Weltraum fliegen kann. Unser Problem in Deutschland ist eher die Mitfluggelegenheit etwa zum Mond. Da tut sich natürlich die NASA, die ja zumindest bisher eigene Shuttles und auch starke Raketen besass, ein bisschen leichter als wir. Wir sagen gerne, dass der erste Deutsche auf dem Mond ein Roboter sein wird. Es könnte ein System sein, das Justin ähnlich ist. Dazu müssen wir aber noch alternative Konzepte der Beweglichkeit erproben, denn jetzt fährt Justin auf Rädern. Das funktioniert in der Wohnung und im flachen Gelände ganz gut, aber nicht notwendigerweise auf Mond oder Mars. Deshalb üben wir jetzt auch zweibeiniges Laufen, bei dem die Japaner ja bisher sehr weit vorne lagen. Wir denken tatsächlich an einen Robonauten, der wie ein Mensch über den Mond oder auch über den Mars hüpfet.

Wo liegen die grössten wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen beim Bau solcher autonomen Roboter?

Es war wichtig, Technologien zu entwickeln, die von der klassischen Industrierobotik, den schweren, steifen Geräten wegkommen. Die Arme von Justin sind durch ein neues Paradigma inspiriert, die sogenannte Soft Robotics. Die Arme sind vergleichsweise leicht. Sie wie-

gen 13 Kilogramm, können aber das gleiche Gewicht nochmals bewegen. Das ist fünf- bis zehnmal mehr als die klassischen Industrieroboter. Sie verbrauchen auch extrem wenig Energie. Mit der Energie einer Glühbirne von 100 Watt kann man die Arme von Justin betreiben. Die Drehmomentsensorik in den Gelenken war auch eine wissenschaftliche Herausforderung. Dadurch spüren die Arme ganz feinfühlig, ob sie irgendwo berührt werden. Sie können so nachgiebig wie der Mensch reagieren, sie machen nichts mehr kaputt. Man kann sie auch wegschubsen, sie sind deshalb für das Kooperieren mit den Menschen geeignet. Das ist aber noch lange nicht das Ende der Fahnenstange. Wir arbeiten jetzt schon an einer Nachfolgeneration von Armen und Händen, die nicht mehr schwerer sind als menschliche Arme und Hände, aber genauso flink und stark. Das sind begeisternde Versuche, die da grade laufen: Wir versuchen wirklich, das bionische System im Menschen, wo für jedes Gelenk quasi zwei Muskeln zuständig sind, nachzuahmen, um die variable Steifigkeit maschinell zu realisieren. Das federnde Gehen des Menschen oder auch das Werfen eines Gegenstandes beruht auf solchen Konzepten mit «Federspeicherung».

Besonders in Asien setzt man in Forschung und Entwicklung stark auf menschenähnliche Roboter. Hat Europa den humanoiden Robotern aus Asien etwas entgegenzusetzen?

Ich muss zugeben, dass es uns Roboterforscher in Europa und in den USA ziemlich geschockt hat, als in den goer-Jahren die Firma Honda, also eigentlich ein Autobauer, mit dem ersten populären humanoiden Roboter aufgetreten ist. ASIMO wurde über Jahre hinweg weltweit überall bei Empfängen herumgereicht, hat Hände geschüttelt und konnte in einfacher Form sogar Treppen steigen. In Japan war die humanoide Roboterforschung schon immer sehr stark entwickelt. Man hat dort auch weniger Berührungängste. Es werden in Japan auch künstliche Tiere entwickelt, zum Beispiel kleine Robbenbabys, die Demenzkranke aufmuntern sollen. Davor scheuen wir Europäer uns ein bisschen. In Japan herrscht in solchen Fragen einfach eine andere Mentalität. Aber ich denke, dass wir technologisch inzwischen mindestens gleichgezogen haben.



Zur Person

Professor Gerhard Hirzinger leitet seit 1992 das Institut für Robotik und Mechatronik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen bei München, das er zu einem der international anerkanntesten und grössten Institute für angewandte Forschung auf diesem Themengebiet machte. Der Schwerpunkt seiner Arbeiten ist die Raumfahrtrobotik. So schickten er und sein Team 1993 mit der Spacelab-D2-Mission erstmalig einen von der Erde ferngesteuerten Roboter in den Weltraum. Derzeit arbeitet er mit seinen Mitarbeitern vorrangig an der Entwicklung von Service-Robotern, die einmal als Robonauten im All eingesetzt werden sollen. Für seine bahnbrechende Forschung und Entwicklung und die damit zusammenhängenden Technologietransfers in erdgebundene Anwendungen erhielt Gerhard Hirzinger zahlreiche renommierte Auszeichnungen – darunter das Bundesverdienstkreuz am Bande der Bundesrepublik Deutschland.

→ [www.dlr.de /rm](http://www.dlr.de/rm)



Podcast zum Interview:
→ www.ethz.ch/ethglobe

Und wie steht es mit den USA?

Es gibt in den USA viele sehr gute und führende Forschungsinstitute. Diese haben aber zum Teil wenig mit der Industrie kooperiert. Das hing mit ganz spektakulären Grundsatzentscheidungen zusammen, die Jahre zurückliegen, zum Beispiel als sich General Motors als führender Autobauer für japanische Roboter in den Fabriken entschied. Das war einer der Gründe, warum es in den USA bis heute keine annähernd so florierende Roboterindustrie gibt wie in Europa. Andererseits ist die Forschung in den USA sehr stark von der Wehrtechnik gefördert worden. Ganz spektakulär ist die Entwicklung von vierbeinigen Robotern, die der Armee als Lastesel dienen. Sie sollen in drei Jahren schon dreissig Kilometer vollautonom durchs Gelände laufen und dabei 200 Kilogramm Gepäck für die Soldaten mittragen können. Auch andere Spezialbereiche wie die Chirurgieroboter sind weithin bekannt geworden. Der Aufstieg der Firma Intuitive Surgical, die den Operationsroboter «DaVinci» herstellt, ist in aller Munde und wird oft verglichen mit der Erfolgsgeschichte von Google und Microsoft. Es werden in den USA bereits an die 85 Prozent aller radikalen Prostataoperationen mit diesen Robotern durchgeführt.

Wo liegen die grossen Anwendungsgebiete der Robotik jetzt und in Zukunft?

In der Industrierobotik sind schon heute die einfachen Gebiete wie Bahnschweissen, Punktschweissen und der Automobilbau mehr oder weniger vollständig von Robotern besetzt. Eher verschlossen geblieben ist den Robotern bisher die Montagetechnik. Das wird aber jetzt dank der erwähnten Leichtbauroboter allmählich anders. Daimler in Deutschland fängt jetzt an, die ersten Arbeitsplätze mit diesen Systemen zu bestücken, die eben keine Schutzzäune mehr brauchen, die Gefühl im Arm haben und die nicht darauf angewiesen sind, dass ihnen alles genau zugeführt wird. Diese neue Form der Robotik setzt sich jetzt langsam durch. Andererseits wird überall am Thema Service-Roboter geforscht. Die Menschen werden immer älter und es wird ein gravierendes Problem werden, sie alle zu versorgen, ihnen Hilfe zu leisten. Viele möchten in ihrem Zuhause bleiben, solange es geht, und man hat ausge-

rechnet, dass es auch ein enormer volkswirtschaftlicher Vorteil wäre, wenn sie nur ein paar Monate länger daheim bleiben könnten. Man könnte so eine Menge Kosten sparen, und auch die Selbstbestimmung wäre höher.

Werden wir also bald vom Pflege-Roboter versorgt?

Wir sollten das Wort Pflege-Roboter vermeiden, darum geht es nicht. Man kann menschliche Zuwendung nie durch Robotik ersetzen, aber die einfachen Hol- und Bringdienste, also zum Beispiel etwas aus dem Kühlschrank holen, aufmachen, warm machen, einfache Dinge zubereiten, das werden die Roboter können und damit werden sie eine grosse Hilfe sein. Man rechnet gerade in diesem Bereich mit riesigen Märkten.

Roboter bieten viele Vorteile. Sie übernehmen beispielsweise monotone Arbeiten oder auch besonders gefährliche. Sehen Sie auch Risiken, und was tut die Forschung dagegen?

Wir sehen eher das Problem, dass die Entwicklung viel langsamer vorangeschritten ist, als wir selbst vorausgesagt haben. Roboterforscher haben deshalb keine Angst davor, dass sich Roboter selbständig machen könnten. Es sind eigentlich immer elektrisch angetriebene Systeme, die einen Knopf zum Ausschalten haben. Natürlich kann ein Roboter sich falsch bewegen. Dennoch sind bisher sehr wenig Unfälle passiert. Und Visionen, dass sich Roboter selbständig machen oder sogar Herrscher über die Menschen werden, verweisen wir im Allgemeinen in das Reich der Fabel.

Damit hängt ja auch das Thema Intelligenz zusammen. Die Erwartungen, menschliche durch künstliche Intelligenz ersetzen zu können, waren ja vor allem in den 1980er- und 90er-Jahren hoch. Hat die Robotik die Versprechen gehalten?

Ich glaube, dass sie diese Versprechen nicht gehalten hat. Es gibt zum Beispiel schon lange das Konzept der neuronalen Netze, also die Nachbildung menschlicher Gehirnfunktionen. Man hat schon vor Jahren geglaubt, man wisse, wie die Neuronen im Gehirn verschaltet sind, und man brauche das nur geschickt zu imitieren und möglichst viele künstliche Neuronen miteinander zu verschalten, dann könne

man sehr effizient Lernfähigkeiten – und damit meine ich nicht die Beantwortung von Quizfragen, also Wissensspeicherung – erzielen. Die Ergebnisse sind bisher recht bescheiden. Als das nicht sehr erfolgreich war, wurde die künstliche Intelligenz zur Vision. Da war viel die Rede vom logischen Schliessen. Man hat das aber nur an sehr einfachen Aufgaben demonstriert, zum Beispiel, wie bringe ich quaderförmige Bausteine aufeinander, was muss ich zuerst tun, was dann und so weiter. Das sah anfangs sehr erfolgversprechend aus, aber wirkliche Intelligenzleistungen sehe ich nach wie vor kaum. Wir haben manchmal ganz fundamentale Probleme. Zum Beispiel funktioniert oft die Bildverarbeitung nicht, wenn nur mal die Sonne durchs Fenster scheint und es Helligkeitsschwankungen gibt. Wir arbeiten natürlich auch am dreidimensionalen Erkennen von

Objekten, aber unter Intelligenzleistung und gar unter Kreativität stellen wir uns alle noch ganz andere Dinge vor, die bisher aus meiner Sicht noch nicht erreicht wurden.

Der Traum der biologisch-inspirierten Robotiker ist ja die Idee, Roboter dazu zu befähigen, nach dem Vorbild der Natur zu wachsen, ja sich sogar fortzupflanzen, um damit noch flexibler und autonomer zu werden. Wie stehen Sie dazu und was ist Ihre persönliche Vision?

Bionische Systeme sind für uns durchaus ein Thema. Nicht nur wir schauen uns momentan viel vom menschlichen Muskelapparat ab. Kürzlich wurde die Entwicklung einer Firma, die pneumatische, also mit Luftdruck arbeitende Muskeln zum Bau von «Elefantenrüsseln» nutzt, mit dem deutschen Zukunftspreis aus-

gezeichnet. Wir versuchen auch, Roboter mit dem Menschen direkt zu verbinden. Wir machen beispielsweise in den USA Versuche, bei denen wir Querschnittgelähmten eine Art Stecker im Kopf implantieren, der sozusagen die Neuronen anzapft und die Signale aus den Vorgängen im Gehirn an eine robotische Prothese weiterleitet. Es ist sehr bewegend, wenn eine Patientin, die sich seit vielen Jahren nicht mehr rühren kann, rein über ihre Gedanken mit unserem Roboterarm und der Hand ein Glas ergreift. Ich habe grosse Hoffnungen, dass es noch dieses Jahr gelingt, dass ein Querschnittgelähmter so wieder selbstständig etwas trinken kann.

Das sind die Visionen, die wir haben, und nicht selbstreproduzierende Roboter. Aus meiner Sicht wird alles aber zumindest auf absehbare Zeit sehr technisch bleiben.



Den neuen Doppelstockzug auf die Kundenbedürfnisse von morgen abstimmen. Das begeistert mich.

Gemeinsam täglich eine Meisterleistung. sbb.ch/jobs



Nach einem Schlaganfall müssen alltägliche Bewegungen neu eintrainiert werden: Therapieroboter ARMin unterstützt den behinderten Arm des Patienten bei der Aufgabe, die der Bildschirm als virtuelle Realität vorgibt. (Bild: Roland Tännler)

Die sanften Therapeuten

Sie sind geduldig, unermüdlich und exakt. Therapieroboter können Schlaganfallpatienten und Menschen mit Bewegungsbehinderungen helfen, einen Teil ihrer Bewegungsfähigkeiten wiederzuerlangen. Entfernt erinnern sie an die Maschinen im Fitnesscenter. Doch sie können viel mehr.

Martina Märki

Hannes S.* sitzt auf einem Stuhl und schaut konzentriert auf den Bildschirm vor sich. Sein linker Arm ist vom Oberarm bis zu den Fingerspitzen in ein Maschinenskelett namens «ARMin» geschnallt, das aussieht wie eine Kreuzung aus Fitnessgerät und Industrieroboter. «Armin läuft», erklingt eine Stimme aus der Maschine, und der Arm von Hannes S. beschreibt einen Bogen nach aussen und kehrt dann mit einer sanften Drehung wieder in die Ausgangsposition zurück. Auf dem Bildschirm führt eine virtuelle Gliederpuppe die gleiche Bewegung aus. «Gut aufpassen», ermuntert Therapeutin Anja Kollmar und korrigiert die Haltung des Patienten.

Wieder bewegt sich die Gliederpuppe auf dem Bildschirm, auch der Arm von Hannes S. bewegt sich im Bogen nach aussen und wieder zurück zum Oberschenkel. «Und jetzt mit beiden Armen zugleich! Machen Sie die gleiche Bewegung mit dem gesunden Arm!» Der Patient öffnet beide Arme und führt sie langsam zurück – die Gliederpuppe auf dem Bildschirm gibt weiterhin mit einem Arm den Takt vor, wieder und wieder. Pause. Dann das Gleiche noch mal – fast das Gleiche. Nach der passiven Mobilisation geht es nun weiter zu aktiv-assistierte Spielen. Die Therapeutin ändert eine Einstellung am Computer. «Spüren Sie, dass Sie jetzt weniger Hilfe bekommen?», fragt die

Therapeutin. Die erste selbständige Armbewegung von Hannes S. fällt etwas wacklig aus – auf dem Bildschirm erscheint ein breiter heller Streifen um den Arm der Gliederpuppe.

Sensomotorische Hilfe

«Das ist der Bewegungsraum, innerhalb dessen Herr S. seinen Arm bei dieser Einstellung jetzt selbständig bewegen kann», erklärt Kollmar. Die Bewegung soll selbständig, aber innerhalb der therapeutisch richtigen Bahnen erfolgen. Ein unkontrolliertes, möglicherweise gar schädliches Ausscheren verhindert ARMin, der Therapieroboter, mit sanfter, aber bestimmter Blockade. Hannes S. ist seit einem Schlaganfall vor fast einem Jahr linksseitig behindert. Bis vor kurzem war der linke Arm vollständig gelähmt. Seit einigen Wochen besucht er das Therapieprogramm in der Zürcher Uniklinik Balgrist, in dem der von der ETH Zürich und der Universität im Labor für Sensomotorische Systeme von Professor Robert Riener entwickelte Therapieroboter ARMin eingesetzt wird. Seine Entwicklung wurde unter anderem mit Mitteln aus dem strategischen Fonds der ETH Zürich Foundation unterstützt. In diesen Fonds zahlen private Donatoren ein, etwa die Walter Haefner Stiftung, und fördern damit strategische ETH-Projekte wie den Therapieroboter. ARMin wird derzeit in vier Kliniken in der Schweiz erprobt und steht kurz vor dem Markteintritt. Ein fünftes Exemplar

von ARMin wird im National Rehabilitation Hospital in Washington D.C., USA, eingesetzt. ARMin ist ein Roboterarm, der mit Arm und Hand eines Patienten verbunden wird. Sensoren messen die Muskelaktivierungen, mit Motoren unterstützt ARMin die Bewegungen, wo nötig und vom Therapeuten erwünscht. Jetzt, nach elf intensiven Therapiestunden, kann Hannes S. den Ellenbogen wieder bewegen und anheben – gut bis auf halbe Schulterhöhe. «Nach meinem Schlaganfall dachte ich, jetzt geht gar nichts mehr», erzählt er. Geplant sind insgesamt 24 Therapiestunden. In diesen Stunden wird Hannes S. nicht nur therapeutische Bewegungen ausführen, sondern mit ARMins Hilfe auch alltägliche Bewegungen und Handgriffe üben, beispielsweise das Greifen und Öffnen von Türfallen oder das Einwerfen von Münzen in einen Fahrkartenautomaten.

Virtuelle Welt als Trainingslager

Auf dem Bildschirm erscheinen Alltagsszenarien: eine Tür mit einer Türfalle, dazu das virtuelle Modell eines Arms. Der Patient bewegt seinen Arm mit Hilfe von ARMin, am Bildschirm kann er den Erfolg seiner Bewegung kontrollieren. Den Arm heben, an die Tür pochen, die Klinke greifen, niederdrücken, die Tür aufstossen. Eine scheinbar einfache Bewegungsabfolge. Hannes S. stösst seinen Arm vom Körper weg – gelungen, es pocht! Jetzt den Arm senken, der Griff zur Türklinke. Das virtuelle Double am Bildschirm zeigt: daneben. Nochmals; diesmal stimmt alles, die virtuelle Tür öffnet sich. Ein virtueller Raum wird durchquert, und schon steht der Patient vor der nächsten Tür. Diesmal zeigt die Türfalle nach links, die Tür muss aufgezo-gen werden. Hannes S. stöhnt, dann bewegt er entschlossen den Arm. Das letzte Mal hat er es bis zu einer roten Tür geschafft, heute möchte er weiterkommen. «Das Problem bei roboterunterstützter Therapie ist, dass Patienten recht lange bei einer

* Name durch die Redaktion geändert



Hirn und Roboter verbinden

Im Projekt CA2ST sollen robotergestützte Therapien mit Hilfe von Neurobildgebung und physiologischen Signalen autonom reguliert und optimiert werden. Man hofft, einmal Impulse aus dem Hirn direkt an Roboterschnittstellen weiterleiten zu können, um Prothesen oder Bewegungshilfen zu steuern.

(Bild: zVg. Roger Gassert)

Aufgabe dabei bleiben müssen. Sie sollen engagiert und motiviert sein und dürfen gleichzeitig nicht überfordert werden. Das schaffen wir durch den Einsatz der Technik der virtuellen Realität», erklärt Professor Robert Riener. Die roboterunterstützte Therapie als solche sei heute weltweit schon recht verbreitet. Der Einbezug von Virtual Reality dagegen steht erst am Anfang. Vieles erinnert an Computer-Games, aber es geht um mehr als um motivierende Spiele: «Unsere Versuchsanordnung misst und bewertet den Patienten während des Trainings in Echtzeit. Wir wissen genau, ob er motorisch und kognitiv dabei ist, und können dann das System so reagieren lassen, dass der Patient immer im richtigen Mass gefordert ist», erklärt Marco Guidali, der als Ingenieur für die technische Seite von ARMin zuständig ist. Und genau diese Kombination aus Motivation, Kognition und Bewegungsübungen sei für den therapeutischen Erfolg entscheidend, betont Projektleiterin Verena Klamroth.

Die Medizinerin führt gerade eine medizinische Vergleichsstudie durch, an der auch Hannes S. als Patient beteiligt ist. Die Studie vergleicht 44 Patienten, die mit ARMin therapiert werden, mit 44 Patienten, die eine konventionelle Therapie erhalten. Schon jetzt, nach etwa der Hälfte des Untersuchungszeitraums, zeigt sich, dass ARMin erfolgversprechend ist. Das liegt einerseits daran, dass eine robotergestützte Therapie Bewegungen viel häufiger und genauer wiederholt als ein menschlicher Therapeut. Ebenso wichtig ist aber die kognitive Komponente: «Das Gehirn lernt zuerst, die Bewegungen wieder auszuführen», sagt Klamroth.

Impulse aus dem Hirn

Roger Gassert, Professor am benachbarten Rehabilitation Engineering Lab der ETH Zürich, möchte den Zusammenhängen von Hirn und Bewegung in der Rehabilitation noch genauer

nachgehen. Wie lernen wir Bewegungen, und was passiert dabei im Gehirn? «Wenn wir diese Fragen genauer beantworten könnten, dann könnten wir gelähmten oder bewegungsbehinderten Patienten noch besser helfen», ist sich Gassert sicher. Einem Patienten, dessen Hand vollständig gelähmt sei, nützen Bewegungsübungen, die ihn im Grunde passiv bewegten, zu wenig. «Wir kennen doch die Effekte des mentalen Trainings aus dem Sport», erläutert er. «Wenn wir nun von Hirnregionen des Patienten den Impuls, eine Bewegung auszuführen, messen könnten, dann könnten wir diesen vielleicht sogar verwenden, um eine robotische Schnittstelle anzutreiben, die hilft, beispielsweise die gelähmte Hand zu öffnen.» Ein entsprechend ambitioniertes Projekt, CA2ST (Cortically-driven Assistance Adaptation in Sensorimotor Training), ist gerade gestartet und führt Spezialisten aus verschiedenen Labors zusammen. Beteiligt sind neben Roger Gassert und seinem Team auch Robert Riener und das Labor für Sensomotorische Systeme, das Biomedical Optics Research Lab der Universität Zürich und das Institute of Neuroinformatics der Universität und der ETH Zürich. Noch sind Gassert und seine Mitforschenden nicht am Ziel. Wohl gibt es in Gasserts Labor eine Reihe von Robotern, die helfen, Hände mit verllorener Bewegungsfähigkeit zu therapieren – und das mit gutem Erfolg, wie etwa der «ReHapticKnob», eine Art sensor- und computergesteuerter ballförmiger Joystick für Greif- und Drehübungen, zeigt. Ein weiterer Roboter erlaubt besonders minutiöse Spreiz- und Schliessübungen mit Daumen und Zeigefinger. Dem eigentlichen Ziel, nämlich der gezielten Verbindung von Neurowissenschaft und Robotik, ist Gassert mit der Entwicklung eines solchen Roboters aus nichtmetallischen Werkstoffen näher gekommen. Denn er kann problemlos jedem Magnetfeld ausgesetzt werden. Dies erlaubt es nun, Probanden mit dem

Roboter zusammen in eine Magnetresonanztube zu stecken und ihre Hirnaktivitäten beim Üben von Fingerbewegungen aufzuzeichnen. «Wir konnten so bereits zeigen, dass im Hirn von alten Menschen und Schlaganfallpatienten andere Hirnregionen kompensatorisch für ausgefallene Regionen einspringen können.» Ein weiteres Ziel seiner Forschungsgruppe sei aber auch, sagt Gassert, Geräte zu entwickeln, die zuhause für die Rehabilitation eingesetzt werden können. Dafür müssen sie klein, einfach und im wahrsten Sinne des Wortes handlich sein. «Patienten könnten noch erfolgreicher behandelt werden, wenn sie zuhause selbständig üben könnten», betont Roger Gassert. Patient Hannes S. würde sich über diesen Gedanken freuen. Heute hat er, der früher höchstens einmal seinen Enkeln beim Gamen über die Schulter geschaut hat, seine Therapeutin gefragt, ob es virtuelle Übungsspiele wie den Türöffner auch für den Heimcomputer gebe.

→ www.sms.mavt.ethz.ch/

→ www.relab.ethz.ch/

Roboterkids an der ETH

Normalerweise tüfteln sie an der Kantonsschule Chur. Während einer Woche wurden die jungen Nachwuchssingenieure des Vereins «Helveticrobot» nun am Autonomous Systems Lab der ETH Zürich gecoach. Das Ziel: die Roboter-Weltmeisterschaft für Junioren in Istanbul.

Lukas Langhart

Im Kanton Graubünden zählte der Roboterbau eher zu den exotischeren Hobbys. Vielleicht wäre das auch so geblieben, hätte nicht Benedikt Köppel vor sechs Jahren in einer deutschen Computerzeitschrift geschmökert. Ein Roboterwettbewerb – das klang spannend! Der damals 17-jährige Gymnasiast fand zwei Gleichgesinnte in der Schule und legte los. Das Projekt «Helveticrobot» war geboren und fand zunehmend Anhänger.

2010 nahmen die Bündner am RoboCup in Singapur teil. In der Juniorenliga, wo neben Fussball- auch Rettungsroboter gegeneinander antreten, erreichten Köppel und sein Team den dritten Rang. Dieses Jahr findet der Wettbewerb in der Türkei statt. Und die Bündner wollen gewinnen.

Viele Sensoren und ein Hindernisgebläse

In der Kategorie «Rescue» muss der Roboter auf einem Hindernisparcours Unfallopfer erkennen: Papiermännchen, die auf 40 Grad erhitzt werden. Um sich auf dem Parcours zurechtzufinden, braucht der sich vollständig autonom bewegende Roboter Sensoren: Wärmesensoren, Distanzsensoren, Bodeneigenschaftssensoren, Bewegungssensoren. Einige dieser Sensoren entwickeln die Jungen gleich selbst: Sie schrauben unter anderem einen Bewegungsmelder aus dem Supermarkt auseinander und setzen die Innereien neu zusammen. Damit der Roboter auf dem Parcours optimalen Halt hat, verkleiden sie die Hinterräder mit dem Belag von

Tischtennisschlägern. Die neueste Errungenschaft des Roboters – und darauf ist das Team besonders stolz – ist ein Bodenpropeller, der Hindernisse einfach wegblasen soll.

Allein das Testen und das Programmieren des Roboters dauert rund zwei Monate. Dabei würden sie am liebsten bis zum letzten Tag vor dem Wettbewerb am Roboter basteln. «Es funktioniert nie alles», sagt Köppel. Mit jedem zusätzlichen Testlauf finden sich Dinge, an denen sie eine Woche tüfteln könnten – und wollten. Doch der Zeitdruck ist gross.

Benedikt Köppel ist mittlerweile 23 Jahre alt, hat vergangenen Sommer an der ETH seinen Bachelor in Elektrotechnik gemacht. Derzeit fährt er jedes Wochenende ins Bündnerland, um sich vor Ort über den Stand der Dinge zu informieren: Was macht die Mechanik, die Elektronik, das Programmieren? Viele ehemalige Mitglieder beraten das Team auch weiterhin. «Wer die Matur macht, wird automatisch zum Mentor der nachfolgenden Generation», sagt Köppel.

Die Ingenieure von morgen fördern

Erfahrungsgemäss landen die meisten Churer Roboter-ingenieure früher oder später an der ETH. In Zürich nutzt man gerne die Gelegenheit, den potenziellen Nachwuchs von den Vorzügen der Hochschule zu überzeugen. Während einer Woche stellt die ETH den Roboter-ingenieuren einen Raum im Autonomous Systems Lab zur Verfügung. Studierende, Assis-

tierende und Dozenten gewähren Einblick in ihre Arbeit und stehen beratend zur Seite. Die Bündner sind begeistert: «Wir können überall anklopfen und fragen, ob jemand kurz unsere neueste Idee überprüft.»

In Chur hat Köppel mit «Helveticrobot» einen Trend gesetzt. Das Team wird beinahe überannt. Die Kantonsschule stellt kostenlos einen Raum für die Roboterkids zur Verfügung. Nicht selten hört man Köppel zwischen den Vorlesungen am Handy auch mit Sponsoren verhandeln. Sein Argument: «Wer die technisch interessierte Jugend fördern will, ist bei uns an der richtigen Adresse.»

→ <http://helveticrobot.ch/>

→ www.asl.ethz.ch/



Topmotivierte Nachwuchsrobotiker im ETH-Coaching: Stefan Lippuner, Oliver Kirsch, Benedikt Köppel, Michel Makhlof, Simon Gredig (v.l.). (Bild: Lukas Langhart / ETH Zürich)

Turboschmelze



Der Grosse Aletschgletscher wird in hundert Jahren vier Kilometer kürzer sein. (Bild: flickr.com/timtom)

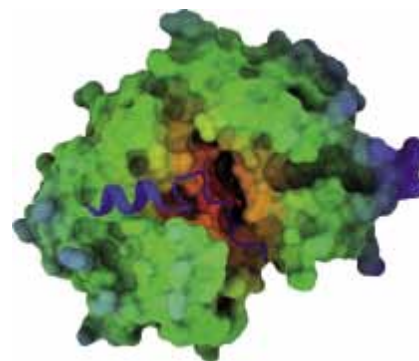
Das Abschmelzen der Gletscher trägt zum Anstieg des Meeresspiegels bei und verändert die Wasserführung der Flüsse, die Landschaften und Ökosysteme nachhaltig. Bisher ist weltweit nur von wenigen Gletschern bekannt, wie sich ihr Volumen über die Jahre verändert hat. Dies gilt auch für die Gletscher der Schweiz – obwohl es hier die umfassendste Beobachtungsreihe der Welt gibt. Die Vorstösse und das Zurückschmelzen der Gletscherzungen werden in der Schweiz seit über 100 Jahren genau verfolgt. Diese einzigartigen Aufzeichnungen haben Gletscherforscher der ETH Zürich genutzt, um die Veränderungen des Eisvolumens von zwölf Schweizer Gletschern zu rekonstruieren. Dazu entwickelten sie ein mathematisches Modell, das einen Gletscher vereinfacht durch Volumen und Länge darstellt und das von Veränderungen der Temperatur und des Niederschlages angetrieben wird. So konnten sie erstmals zeigen, dass es möglich ist, aus Längenänderungen die Veränderung des Eisvolumens zu bestimmen. Die von den Forschern für die Vergangenheit berechneten Volumenänderungen stimmten erstaunlich genau mit Luftaufnahmen und alten Karten überein, was sie dazu veranlasste, das Modell auch für künftige Szenarien anzuwenden. Die Resultate zeigen, dass die Gletscher in naher Zukunft weiter massiv an Volumen verlieren werden. Dies selbst dann, wenn sich das Klima nicht weiter erwärmen würde. Die Reaktion von Gletschern hinkt den Veränderungen des Klimas nämlich um Jahrzehnte bis Jahrhunderte hinterher.

Robustes Signalnetzwerk

Kinasen und Phosphatasen sind wichtige Enzyme, da sie zu Signalzwecken andere Proteine mit einer Phosphatgruppe bestücken oder diese entfernen. Dadurch entsteht ein weit verzweigtes Signalnetzwerk, das zur Regulation wichtiger Zellfunktionen dient. Fehlerhafte Regulationen können beim Menschen zu schweren Krankheiten wie Krebs führen. Das System funktioniert aber relativ sicher, wie Forschungen an der ETH Zürich gezeigt haben.

Hefezellen reagieren auf den Ausfall einzelner Signalenzyme, der Kinasen oder Phosphatasen, überraschend flexibel und robust, dank ausgeprägter Doppelspurigkeiten innerhalb des Signalnetzwerks. Das zeigte eine der umfassendsten Analysen des sogenannten Phosphorproteoms dieser Zellen. Schalteten die Forscher eines der Signalenzyme aus, sprangen andere in die Bresche. Die Enzyme waren in der Lage, mehr verschiedene Substrate zu bearbeiten, als die Forschung angenommen hatte. Der Effekt des Ausfalls

einzelner Enzyme war in der Regel jedoch minim: Die gestörten Zellen wichen weder in Form noch Funktion stark von Wildtyp-Zellen ab, wuchsen lediglich langsamer und blieben kleiner. Allerdings sind nicht alle Kinasen oder Phosphatasen ersetzbar: Rund 20 Prozent der 160 untersuchten Enzyme sind essenziell. Fehlen sie, geht die Zelle zugrunde.



Eine Proteinkinase A mit einem Substrat (blaues Band). (Bild: Johannes Kaestner)

E-Bikes für bessere Stadtluft



Die «KPMG's Inspiration Grant»-Gewinner Niels Lehmann (links) und Moritz Meenen. (Bild: KPMG)

Zum fünften Mal in diesem Jahr hat KPMG Schweiz einem vielversprechenden Forschungsprojekt einen «KPMG's Inspiration Grant» und die Summe von 100 000 Franken zugesprochen. Die Forscher Moritz Meenen und Niels Lehmann, beide Research Assistants am Autonomous Systems Laboratory der ETH, erhielten den Förder-

preis für ihr Projekt zur Entlastung des Stadtverkehrs. Sie wollen mittels elektrisch betriebener Fortbewegungsmittel, sogenannter «E-Bikes», die Stadtzentren entlasten und die Umwelt nachhaltig schützen. Zum Projekt gehört auch die Entwicklung passender Hardware, etwa in Form von effizienten Ladetechnologien. In einer ersten Testphase sollen Studierende und Mitarbeitende der ETH Zürich E-Bikes gemeinsam nutzen. Aus diesem Praxistest lassen sich wichtige Erkenntnisse für die Umsetzung des Konzepts gewinnen. Der «KPMG's Inspiration Grant» wurde Anfang 2010 von KPMG Schweiz anlässlich ihres 100-Jahr-Jubiläums in Partnerschaft mit der ETH Zürich und der EPF Lausanne ins Leben gerufen. Es werden damit gezielt Projekte mit wissenschaftlicher Qualität und unternehmerischem Potenzial ausgezeichnet, die in den Bereichen Umwelt und Gesundheit einen relevanten Beitrag leisten.

Meilenstein der Chemie



Ausgezeichnet: Der Chemiealtbau der ETH mit der «Chemical Landmark»-Plakette. (Bild: Peter Rüegg / ETH Zürich)

Seit kurzem ziert eine besondere Gedenktafel den Chemiealtbau, kurz CAB, gegenüber dem Hauptgebäude der ETH Zürich. Mit der Plakette «Chemical Landmark» würdigt die «Akademie der Naturwissenschaften Schweiz» damit zum zweiten Mal eine historisch bedeutende Stätte der Chemie. Mit dem Programm möchten die Mitglieder der Akademie erfolgreiche Forschung und wichtige Entdeckungen sichtbar machen. Und damit kann die ETH Zürich reichlich aufwarten: Allein sieben Chemie-Nobelpreisträger lehrten und forschten im CAB – darunter Richard Ernst, Vladimir Prelog und Leopold Ružička.

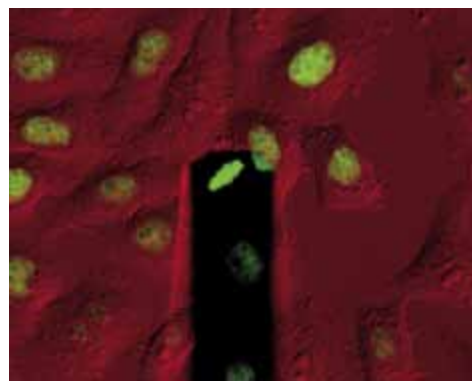
Wie die Zelle zum Kraftprotz wird

Um sich teilen zu können, muss sich eine Zelle erst einmal genügend Platz im Gewebe schaffen. Wie ihr das gelingt, war bisher unbekannt. Nun haben Forscher vom Department Biosysteme der ETH Zürich entdeckt, dass sich Zellen bei der Teilung durch hydrostatischen Druck «aufpumpen». Dabei entwickeln sie eine enorme Kraft.

Das Rätsel lösten Forscher um Daniel Müller, ETH-Professor für Biophysik, in Zusammenarbeit mit Forschern aus Dresden. Ihre Ergebnisse zeigen, dass tierische Zellen während der Teilung Wasser aufnehmen. Dadurch bauen sie einen hydrostatischen Druck auf, der sie aufbläht wie einen Ballon. Das erzeugt eine Kraft, die das umliegende Gewebe beiseitedrücken kann. Die Kraft, die dabei gemessen werden kann, beträgt etwa 0,0000001 Newton. Obwohl der Messwert sehr klein ist, ist er, auf den Massstab einer Zelle bezogen, enorm. Es entspricht in etwa der Kraft, die ein Mensch benötigen würde, um einen Elefanten zu stemmen.

Wie es der Zelle gelingt, solche Kräfte zu entwickeln, fanden die Forscher ebenfalls heraus. Sie stiessen auf ein Transportprotein in der Zellhülle, das Natriumionen in das Zellinnere schleust und dadurch den Salzhaus-

halt reguliert. Sie beobachteten, dass immer dann besonders viel Natrium transportiert wird, wenn eine Zelle sich teilt. Das erzeugt eine osmotische Wirkung, die Wasser in das Zellinnere nachströmen lässt. Je mehr Wasser einströmt, desto mehr dehnt die Zelle sich aus. Ein Teil des Geheimnisses liegt also im Salz. Die Forscher sind weiteren Details des Mechanismus auf der Spur.



Menschliche Zellen (rot) mit grün gefärbter DNS. Die Spitze der Siliziumfeder (dunkel) zeigt auf eine Zelle, die sich bereits zur Teilung abgerundet hat. (Bild: zVg D. Müller/ ETH Zürich)

Ich
überzeuge mit
Energie.



Wo fließt Ihre Energie? Finden Sie's raus – Infos zum Einstieg bei der BKW-Gruppe gibt es unter:

www.bkw-fmb.ch/karriere

BKW®

«Frauen nicht gleich, sondern gleichwertig behandeln!»

Das erste «Gender-Monitoring» der ETH Zürich hat gezeigt, dass der ETH viele Frauen auf dem Weg vom Studium zur Professur verloren gehen. ETH-Präsident Ralph Eichler und Renate Schubert, Delegierte für Chancengleichheit, erläutern, was die ETH dagegen unternimmt und warum der ETH-Präsident Professorinnen nicht entlasten will.

Interview: Samuel Schläfli und Thomas Langholz

Herr Eichler, viele Hochschulen beschäftigen sich heute mit dem Thema Gleichstellung. Gehört das kürzlich vorgestellte «Gender-Monitoring» zum guten Ton einer modernen Hochschule?

Ralph Eichler: Nein, mit dem Monitoring und unserem Engagement dafür, den Frauenanteil im akademischen Bereich der ETH zu erhöhen, kommen wir einerseits dem politischen Auftrag des Bunds nach. Andererseits weiss man von anderen hochkarätigen Hochschulen, dass Diversität – und dazu gehört auch ein hoher Frauenanteil – ein Erfolgsfaktor ist. Das sehen auch der ETH-Rat und die Schweizerische Universitätskonferenz so.

Renate Schubert: Zudem ist das Engagement der ETH nicht neu. «Equal!», die Stelle für Chancengleichheit von Frau und Mann an der ETH Zürich, gibt es bereits seit 20 Jahren.

Frau Schubert, ein besonderer Fokus des Gender-Monitorings lag auf dem Phänomen der «Leaky Pipeline». Was versteht man genau darunter, und weshalb ist es für die Hochschule ein Problem?

Schubert: Die «Pipeline» steht symbolisch für den akademischen Werdegang. Bei den Frauen hat diese Pipeline «Löcher»; sie leckt. Der Frauenanteil bei den Studierenden an der ETH liegt bei rund 30 Prozent, bei den Professuren jedoch nur noch bei zehn Prozent. Das heisst, dass wir auf dem akademischen Weg zu viele Frauen verlieren. Dadurch geht uns viel Poten-

zial verloren. Wir wollen daher die Löcher stoppen und dafür sorgen, dass der Frauenanteil von den Studierenden bis zu den Professuren möglichst höher ausfällt als bisher.

Vor 20 Jahren, als diejenigen Frauen studierten, die heute eine Professur besetzen könnten, gab es noch wesentlich weniger Studentinnen als heute. Wird sich das Problem also mit der Zeit von alleine lösen?

Eichler: Wir sehen tatsächlich, dass bei den Assistenzprofessuren und jüngeren Professuren der Frauenanteil höher ist. Das spricht für die von Ihnen genannte Entwicklung.

Schubert: Das stimmt. Doch ein Vergleich der Anzahl Studentinnen vor 20 Jahren mit der Anzahl Professorinnen heute zeigt auch, dass dem akademischen Betrieb tatsächlich viele Frauen verloren gingen. Dagegen müssen wir unabhängig von zunehmenden Studentinnenzahlen etwas unternehmen. Es gibt keinen Automatismus, der dafür sorgen würde, dass die Leaky Pipeline in zehn oder zwanzig Jahren kein Problem mehr ist.

Herr Eichler, wo könnten Ihrer Meinung nach Ursachen für die «Leaky Pipeline» an der ETH Zürich liegen?

Eichler: Frauen stehen oft vor der Herausforderung, ihren Familienwunsch mit einer akademischen Karriere unter einen Hut zu bringen. Doch als Professor oder Professorin muss man heute raus aus dem Labor, seine Ergebnisse auf Konferenzen präsentieren und sich ein karriereförderndes Netzwerk aufbauen. Das beansprucht viel Zeit. Haben Frauen diese Zeit nicht, weil sie sich um ihre Kinder kümmern, so entstehen ihnen später berufliche Nachteile. Deshalb halte ich auch wenig von «Entlastungen» der Professorinnen anhand von weniger Unterrichtsstunden, weniger Mitgliedschaften in Kommissionen oder weniger Konferenzbesuchen. Wichtiger ist, dass wir die Frauen zuhause in den Familien entlasten.

Inwiefern bietet die ETH Akademikerinnen in diesem Bereich Unterstützung?

Schubert: Die ETH tut viel in dieser Hinsicht: Mit einer Beteiligung an der Stiftung KiHZ sowie mit der Krippe KIKRI bietet sie Hilfe bei der Kleinkinderbetreuung. Und sie plant finanziel-

«Der Frauenanteil bei den Studierenden an der ETH liegt bei rund 30 Prozent.» *Renate Schubert*

le Zuschüsse für Konferenzbesuche, damit sich Frauen eine Kinderbetreuung zu Hause leisten können. Gleichzeitig unterstützt sie flexible Arbeitszeiten, die für ein Nebeneinander von Beruf und Familie wichtig sind.

Das Monitoring hat auch gezeigt, dass die meisten Professorinnen an der ETH aus dem Ausland stammen. Woran liegt das?

Schubert: Das hat sicher viel mit gesellschaftli-

chen Rollenbildern zu tun. Die ganztägige Kinderbetreuung zum Beispiel ist in der Schweiz noch ein relativ junges Phänomen. Vor zwei Jahrzehnten galt diese in der Schweiz noch als indiskutabel. Länder wie Frankreich oder die USA haben damit schon viel mehr Erfahrung.

Wenn gesellschaftliche Normen dermassen bestimmend sind, stellt sich die Frage, ob die ETH überhaupt etwas bewirken kann?

Schubert: Wir alleine können das Gender-Problem sicherlich nicht lösen. Wir können aber unsere Studieninhalte so anpassen, dass sie für Frauen attraktiver werden. In der Robotik etwa hat sich gezeigt, dass Frauen viel stärker an Anwendungen zur Unterstützung des Menschen interessiert sind als Männer. Diese

punkto Motivation und Interessen Unterschiede zwischen Männern und Frauen gibt, und diesen auch in der Lehre Rechnung tragen.

Eichler: Wir müssen akzeptieren, dass Frauen

«Wir wollen herausfinden, wohin die Frauen nach einem Absprung von der ETH gehen.» *Ralph Eichler*

und Männer nicht gleich, sondern gleichwertig sind. Die grosse Herausforderung besteht darin, dies auch in der Lehre umzusetzen.

Potenzial bei den Studienanfängerinnen noch nicht ausgeschöpft ist. Der Anteil an Maturandinnen mit naturwissenschaftlichem Abschluss ist deutlich höher als 30 Prozent. Des-

halb planen wir eine Maturandinnenbefragung. Wir wollen herausfinden, weshalb junge Frauen sich nicht für ein Studium an der ETH entscheiden. Zudem wollen wir auch die Wirksamkeit von unterschiedlichen

Massnahmen zur Frauenförderung im akademischen Bereich überprüfen, damit wir Gelder in Zukunft noch zielgerichteter einsetzen können. Und schliesslich werden wir das Gender-Monitoring fest etablieren und alle drei Jahre wiederholen.

Damit können wir den Frauenanteil quasi in Echtzeit beobachten und bei negativen Entwicklungen frühzeitig eingreifen.

Bei Männern könnte der Eindruck entstehen, dass die Frauen an der ETH hofiert werden. Wie stellen Sie sicher, dass trotz der Anstrengungen für eine höhere Frauenquote den Männern keine Nachteile entstehen; die Gleichstellung also auch anders herum gegeben ist?

Schubert: Solche Befürchtungen gibt es tatsächlich. Kürzlich hat sich jemand bei mir beklagt, dass Männer von bestimmten Kursen ausgeschlossen seien. Das stimmt tatsächlich: Männer können an vielen Kursen im Rahmen der Mentoring-Programme für Frauen nicht teilnehmen. Es ergibt aber durchaus Sinn, manche Kurse gezielt für Frauen anzubieten. Besonders für Themen, bei denen Frauen traditionell schwächer sind als Männer, wie zum Beispiel Lohnverhandlungen oder Jobinterviews. In der Regel gibt es an der ETH aber auch entsprechende Kursangebote, die für jedermann zugänglich sind. Ich glaube daher nicht, dass sich die Männer diesbezüglich Sorgen machen müssen.

→ www.ethglobe.ethz.ch/gendermonitoring



ETH-Präsident Ralph Eichler und Renate Schubert im Gespräch. (Bilder: Peter Rüegg / ETH Zürich)

lassen sich eher durch die Idee eines Fussballspielenden Roboters oder ähnlicher «Spielzeuge» begeistern.

Gleichstellungsbeauftragte in den Departementen berichten jedoch, dass speziell an Frauen adressierte Kurse meist nicht gut ankommen. Eine Zwickmühle?

Schubert: Um auf das Roboterbeispiel zurückzukommen: Frauen und Männer könnten sowohl den Hilfs- als auch den Fussballroboter realisieren. Bislang wurden jedoch Aspekte, die speziell für Frauen interessant sind, zu wenig berücksichtigt; schliesslich wurden die Studieninhalte ja auch fast ausschliesslich von Männern definiert. Man muss akzeptieren, dass es

Welche konkreten Massnahmen sollen nun anhand des Gender-Monitorings getroffen werden?

Eichler: Wir wollen die Motivation für das Ausscheiden von Frauen aus dem akademischen Bereich der ETH besser verstehen und herausfinden, wohin die Frauen nach einem Absprung von der ETH gehen. Wir haben dazu eine sogenannte Kohortenanalyse angedacht, bei der wir einen Studiengang über eine bestimmte Zeit begleiten werden. Ausserdem ist eine Austrittsbefragung geplant. Wer weiss, vielleicht gehen die Akademikerinnen der Wissenschaft ja gar nicht verloren, sondern wechseln einfach an eine andere Hochschule.

Schubert: Wir haben auch gesehen, dass das

Der Evolution ins Handwerk geschaut

Im Jahr der Chemie schaut ETH Globe in einer Serie den ETH-Chemikern ins Reagenzglas. Zum Start gehts gleich ans Lebendige: Proteine, speziell Enzyme, sind hocheffiziente Bausteine des Lebens. Proteinforscher an der ETH Zürich suchen nach Methoden, deren Mechanismen zu verstehen und nachzuahmen.

Catarina Pietschmann

Ein erwachsener Mensch – das sind rund 100 Billionen Zellen. Sie lassen ihn schmecken, riechen und unendlich viele Farben sehen. Er denkt und träumt durch sie, fühlt Berührung, Schmerz und Temperatur. Geht, joggt, verdaut, ernährt, entgiftet sich und pflanzt sich fort. Ohne Pause rackert sich jede einzelne Zelle ab, um ihre Aufgaben für das grosse Ganze – uns – zu erfüllen. Dabei produziert sie Tausende verschiedener Eiweisse, sogenannter Proteine, bestehend aus Aminosäureketten. Das können Strukturproteine zum Zellaufbau sein, aber auch winzigste, hochspezialisierte «Werkzeuge», Enzyme. Sie wirken als Biokatalysatoren, die Stoffwechselforgänge im Körper anschleichen und beschleunigen.

Hunderte unterschiedliche Enzyme hat die Zelle dafür parat. Damit kann sie alle notwendigen Substanzen sehr effizient auf- oder abbauen. Was, wenn es keine Enzyme gäbe? «Sehr einfach: Leben wäre nie entstanden», sagt Donald Hilvert, Professor für Chemische Biologie an der ETH. «Die meisten lebensnotwendigen Reaktionen wären ohne Enzym-Katalyse viel zu langsam. Allein die Halbwertszeit der Spaltung der Bindung zwischen zwei Aminosäuren beträgt 400 Jahre!» Zumindest ohne die Hilfe von Enzymen und bei so milden Bedingungen im Körper – in Wasser bei 37 Grad. Enzyme beschleunigen

n biochemische Reaktionen um 15 bis 20 Zehnerpotenzen.

Basis jeden Enzyms ist eine Aminosäurekette, die sich charakteristisch faltet und verknäult. Entscheidend für seine Wirkung ist das sogenannte aktive Zentrum des Enzyms: eine taschenartige Struktur mit einem «Futter» aus zehn bis zwanzig Aminosäuren, in die das Substrat bindet. Hier findet die chemische Reaktion statt.

Mit künstlichen Enzymen testen

Proteinstrukturen lassen sich durch Röntgenstrukturanalyse in 3-D von allen Seiten betrachten. «Doch im Detail verstehen wir noch kein einziges Enzym», sagt Hilvert. Wie arbeiten sie? Was macht sie so ungeheuer effizient? Hilverts Gruppe versucht diesem Rätsel unter anderem durch gerichtete Evolution auf die Spur zu kommen. Dabei werden mittels molekularbiologischer Methoden eine oder mehrere Aminosäuren vom «Taschenfutter» des Enzyms ausgetauscht, mitunter auch unnatürliche Bausteine eingebaut. Dadurch kann die Enzymaktivität steigen – oder sinken. Meist passiert Letzteres. Welche Struktur ist wirklich wichtig für die Funktion, auf welche kann man verzichten, ist die entscheidende Frage. «Wenn wir das wissen, werden wir neue Enzyme kreieren können», hofft Donald Hilvert. Denn alle bisherigen künstlichen Enzyme arbeiten vergleichsweise im Schnecken-tempo.

Indem sie Enzyme am Computer designen, erproben Hilvert und Forscherkollegen in den USA virtuell verschiedene Varianten. «Am Computer gelingt es, eine enorme Kombinationsvielfalt durchzuspielen, um neue Bindungstaschen zu erhalten, die auch ungewohnte Substrate binden.» Alten Enzymen neue «Kunststückchen» beizubringen, scheitert in vivo aber häufig daran, dass sich das mutierte Enzym partout nicht falten will. Damit verliert es seine Funktion.

Indem sie Enzyme am Computer designen, erproben Hilvert und Forscherkollegen in den USA virtuell verschiedene Varianten. «Am Computer gelingt es, eine enorme Kombinationsvielfalt durchzuspielen, um neue Bindungstaschen zu erhalten, die auch ungewohnte Substrate binden.» Alten Enzymen neue «Kunststückchen» beizubringen, scheitert in vivo aber häufig daran, dass sich das mutierte Enzym partout nicht falten will. Damit verliert es seine Funktion.

Wie hats die Natur gemacht?

Der in der Chemie forschende Mikrobiologe Peter Kast nutzt ebenfalls Methoden der «künstlichen» Evolution – aber um die natürliche zu untersuchen. Er will herausfinden, wie aus einst schwachen Enzymen im Laufe der Evolution die heute so effizienten wurden. Kasts «Labormaus» ist die Chorismat-Mutase (CM), ein Enzym im Stoffwechsel von Bakterien, Pilzen und Pflanzen. Dieses Enzym verwendet einen seltenen Mechanismus, der auch in der chemischen Industrie eine grosse Rolle spielt.

Die ersten Biokatalysatoren waren vermutlich katalytisch aktive RNA-Moleküle. Im Laufe der Evolution übernahmen Proteine deren Rolle, weil sie aufgrund ihrer chemischen Vielseitigkeit effizienter waren», meint Kast. «Proteine wurden anfangs wohl eher zufällig aufgebaut. Varianten mit einer schwachen aber nützlichen Funktion wurden dann dem Selektionsdruck in Richtung der modernen, hocheffizienten Enzyme unterworfen.» So lässt sich auch erklären, warum es zwei verschiedene Typen von CM gibt, deren Aminosäuresequenzen keinerlei Verwandtschaft zeigen. Die Evolution hat also zweimal unabhängig voneinander ein Molekül hervorgebracht, das dieselbe Aufgabe erfüllt.

Jahr der Chemie

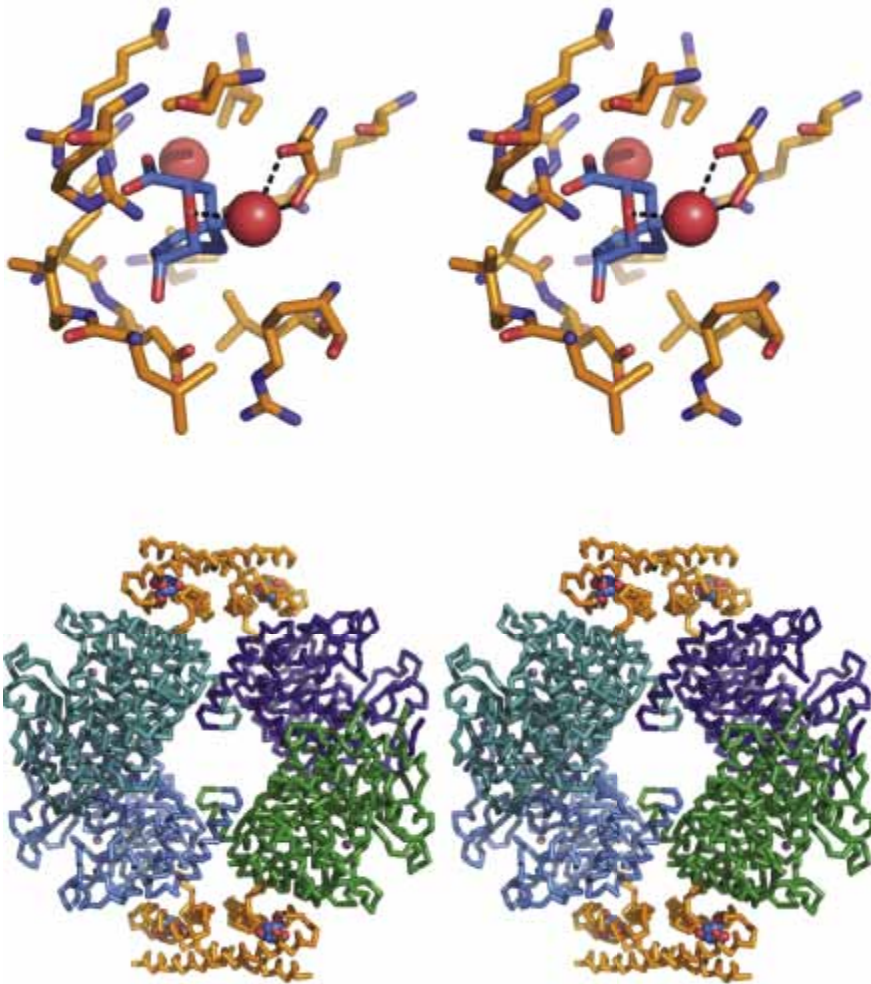
Die UNO hat 2011 zum Jahr der Chemie erklärt. Dazu finden in der ganzen Schweiz öffentliche Veranstaltungen statt. ETH-Chemiker, Materialwissenschaftler und der Fachbereich Chemie-Biochemie (FCB) der Universität Zürich sind im Raum Zürich engagiert.

Ein Höhepunkt ist am 18. Juni 2011 in Zürich der «Tag der Chemie», mit Veranstaltungen auf dem ETH-Campus Höggerberg und auf dem Campus Irchel der Universität Zürich.

Details zu den Programmen:

→ www.chemistry2011.ch/

→ www.chab.ethz.ch



Enzymstrukturen im Detail: Stereobilder* des Enzyms Chorismat-Mutase (orange) mit einem Hemmstoffmolekül (blaue Kohlenstoffatome) im aktiven Zentrum. Oben: Details vom aktiven Zentrum, inklusive zweier Wassermoleküle als rote Kugeln. Unten: Komplex von zwei Chorismat-Mutasen mit einem anderen Enzym, das aus vier Untereinheiten («Knäuel» einer Aminosäurekette) besteht. (Bild: Kathrin Roderer / ETH Zürich)

*Für den 3-D-Effekt schaut man zuerst mit beiden Augen in die Ferne, schiebt sich dann das Bild mit ca. 30 cm Abstand vor das Gesicht und «fokussiert» auf die «mittlere» Struktur.

Proteine für Medikamente

Proteine spielen als sogenannte «Biologics» in der Medizin eine zunehmend wichtige Rolle. Angefangen beim Insulin, einem Hormon der Bauchspeicheldrüse, über monoklonale Antikörper (mAB) für die Krebstherapie bis zu anderen Proteinen des Immunsystems mit medizinischer Bedeutung. Wegen der Arzneimittelsicherheit müssen diese Proteine, von denen zum Teil weltweit etliche Tonnen jährlich benötigt werden, sehr rein hergestellt werden.

Was nicht einfach ist, wie Massimo Morbidelli vom Institut für Chemie- und Bioingenieurwissenschaften der ETH Zürich weiss. Sein Team entwickelt Trennverfahren, um die begehrten

Proteine aus dem wilden Cocktail gezielt herauszufiltern.

Bei kleinen Molekülen wie Acetylsalicylsäure (für Aspirin) ist das leicht: Man treibt sie mittels eines Flüssigkeitsgemisches durch eine mit sandartigen Partikeln gefüllte Trennsäule. «Da gilt es nur drei, vier, vielleicht zehn Nebenprodukte abzutrennen.» Therapeutische Proteine hingegen werden meist von genetisch veränderten Säugetierzellen in Bioreaktoren erzeugt. «Aber wie alle Zellen stellen auch diese natürlich für sich selbst viele Proteine her – Millionen verschiedene!», sagt Morbidelli. Daraus den gewünschten Antikörper sauber herauszufischen, macht 80 Prozent der Gesamtkosten eines Arzneimittels aus.

Ein Teil der Lösung des Problems: den «Sand» verbessern. Entscheidend für die Effizienz des Trennverfahrens ist die Anlagerung der Proteine auf dieser speziellen sandartigen Oberfläche. Feinste Poren vergrössern die Oberfläche der Körnchen drastisch. «Wenn wir unsere Proteine aber auf die typischerweise verwendeten Partikel kippen, gibts eine Katastrophe. Denn sie sind dicker als die Poren, gelangen gar nicht hinein. Die innere Oberfläche ist nicht nutzbar.» Partikel mit grösseren Poren müssen also her. Mit Reactive Gelation, einem Verfahren, welches das Team entwickelte, gelingt das – durch kontrollierte Zusammenballung von je etwa einer Million sehr kleiner Nanopartikel. Der Trick: Statt der Poren in Partikeln können nun die Hohlräume zwischen den Nanopartikeln als Trennoberfläche genutzt werden. Der zweite Teil der Lösung des Problems: Statt *einer* Trennsäule werden gleich drei bis vier hintereinandergeschaltet, kontinuierlich die wüste Proteinmischung daraufgegeben und während des Trennungsvorgangs das Lösungsmittelgemisch variiert, alles vollautomatisch. Am Ende gibt es drei Auffanggefässe: zwei für Proteinmüll, eins für das kostbare Produkt.

Erfolgreiche Spin-off-Gründung

«Multicolumn Countercurrent Solvent Gradient Purification» (MCSGP) heisst das Verfahren. Es funktioniert so gut, dass aus Morbidellis Gruppe heraus 2007 die Firma ChromaCon gegründet wurde. «Mit den kompakten Labogeräten, die zur Prozessentwicklung benutzt werden, können wir bis zu 50 Gramm reines Produkt pro Tag gewinnen. Die grossen Anlagen liefern etwa fünf Kilogramm», erzählt Guido Ströhlein, CEO von ChromaCon. Mehrere davon, jede im Wert einer Kleinwagenflotte, testet die Pharmaindustrie bereits.

Der Aufwand, menschliche Proteine industriell herzustellen, ist enorm. Und doch lohnt es sich. Denn kranken Zellen hilft eine Therapie mit «Eigenprodukten» oft am besten. Dazu brauchte es einerseits die Einsicht, wie Enzyme funktionieren, und andererseits Technologien, um Biologicals preiswerter herzustellen. Aber ob Wissenschaftler das jemals besser hinkommen als eine natürliche Zelle? Die Evolution ist ihnen einfach fünf Milliarden Forschungssemester voraus.

→ www.ethglobe.ethz.ch/gruppehilvert

→ www.ethglobe.ethz.ch/gruppekast

→ www.ethglobe.ethz.ch/gruppemorbidelli



Der Quantenforscher Klaus Ensslin fördert das Sowohl-als-auch: Forschung und Familie sind für ihn und seine Mitarbeitenden gut vereinbar. (Bild: Tom Kawara)

Quanten sind nicht alles

Der Quantenphysiker Klaus Ensslin ist passionierter Wissenschaftler und liebt unerwartete Forschungsergebnisse. Seine Leidenschaft für das Fach verbindet er mit einer lebensfreundlichen Haltung zu seinen Mitarbeitern. Sie dankten ihm mit einer besonderen Auszeichnung.

Simone Ulmer

Seit vergangenem Dezember ist der Experimentalphysiker Klaus Ensslin an der ETH Zürich nicht mehr nur als engagierter Quantenwissenschaftler bekannt. Sein Team hat dafür gesorgt, dass Ensslin mit dem «Goldenen Dreirad» ausgezeichnet wurde. Einer Auszeichnung der Mitarbeitenden der ETH Zürich für Führungskräfte, die familienfreundliche Arbeitsbedingungen schaffen. Genau das scheint Ensslin zu gelingen, und zwar ausgerechnet in einem hochkompetitiven Wissenschaftsbereich. Seinen Mitarbeitern lag viel daran, dass ihr Chef diese Auszeichnung bekam. Bereits zum zweiten Mal in Folge hatten sie Ensslin für das Goldene Dreirad vorgeschlagen. Sein Team überhäuft ihn geradezu mit Lob: ein Chef, bei dem die Kinder der Teammitglieder als Bereicherung angesehen werden und bei dem der Frauenanteil unter den Doktorierenden gleich gross wie der Männeranteil ist. Das sei aber eher Zufall, gesteht Ensslin. Es hat Zeiten gegeben, in denen er keine einzige Doktorandin hatte.

Nachdem Ensslin letztes Jahr bei der Preisvergabe leer ausgegangen war, verlieh ihm sein Team ein selbst gebasteltes silbernes Dreirad. «Das ist noch viel schöner als das goldene», freut sich Ensslin und präsentiert stolz das filigrane Objekt aus Silberdraht auf einem Plexiglassockel. Sein Zimmer ist bestückt mit persönlichen Andenken, darunter auch Kinderzeichnungen. Der fünfzigjährige Wissenschaftler ist selbst dreifacher Familienvater und verlässt auch schon mal die Arbeit, wenn die

Kinder krank sind oder andere wichtige Aufgaben in der Familie anstehen; er weiss, was es bedeutet, Familie und Karriere unter einen Hut zu bringen.

In der Welt des «Sowohl-als-auch»

Dass der «Quantenflüsterer», wie er einst von einem Journalisten betitelt wurde, bei seiner Arbeit auf eine gute Atmosphäre setzt, hat seinen Grund. «Man kann nur gute Arbeit leisten, wenn die Arbeit Spass macht», davon ist Ensslin überzeugt. Und gute Arbeit ist entscheidend, wenn er und sein Team die Grenzen der klassischen Physik überschreiten und sich in eine Welt von Wahrscheinlichkeiten begeben, in der allein die Gesetze der Quantenmechanik gelten. Eine Welt, in der es kein eindeutiges Schwarz oder Weiss gibt, sondern nur «sowohl als auch». Bis heute wissen die Wissenschaftler nicht, ab welcher Systemgrösse ein Objekt den Gesetzen der Quantenmechanik folgt. «Kann ein Virus quantenmechanisch sein? Könnte ich etwas machen, das ich mit Händen anfassen kann, das aber trotzdem quantenmechanisch funktioniert?» Diese Fragen könne man noch nicht beantworten, sagt Ensslin.

Auf einem Gebiet, das mit der klassischen Physik nicht mehr zu beschreiben ist, ist viel Fantasie und Intuition gefragt, davon ist der Wissenschaftler überzeugt. So weiss Ensslin, dass sich anfangs jeder mit der Quantenmechanik schwertut und versucht ist, diese erst einmal als «unverständlich» abzutun. Etwa die Annahme, dass ein Teilchen wie das Elektron nur mit

Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden kann. «Ich sehe doch, dass mein Stift genau da liegt und nicht woanders», sagt der Physiker auf seinen Kugelschreiber zeigend. Ob man die Quantenmechanik verstanden hat oder sich daran gewöhnt hat, ist für ihn oftmals ein fließender Übergang. «Man gewöhnt sich ein Handwerk an, das Verstehen der Quantenmechanik kann nur intuitiv erfolgen.»

An den Grenzen der Spekulation

Ensslin möchte aber nicht nur in seiner Gruppe eine gute Atmosphäre und exzellente Rahmenbedingung für die Forschungsarbeit schaffen. Auch in dem von ihm geleiteten Nationalen Forschungsschwerpunkt «Quantum Science and Technology» (NFS QSIT) setzt er auf motivierende Rahmenbedingungen, um das grosse Potenzial der Schweiz im Bereich der Quantenforschung erfolgreich zu nutzen. Etwa, um in der Zukunft einen Quantencomputer bauen zu können. «Quanten-Informationsverarbeitung ist ein neuer Forschungszweig, der in der Theorie weit entwickelt ist», betont der Physiker. Nun gelte es, gut kontrollierte Quantensysteme auf atomarer Ebene in grosser Zahl herzustellen und zu versuchen, die optimalen Eigenschaften der verschiedenen Forschungsansätze zu kombinieren. Was auf diesem Weg alles für Überraschungen bereitstehen, darüber kann nur spekuliert werden. Gerade dieses Unvorhersehbare reizt den Wissenschaftler an seinem Beruf, und gerne zitiert er den Physik-Nobelpreisträger Herbert Kroemer: «Jede Entdeckung kreiert ihre eigene Anwendung.» Für Ensslin ist die Quantenmechanik eine äusserst erfolgreiche Theorie, deren Gesetze nun benutzt werden, um damit einen bestimmten Zweck zu erreichen. Er ist überzeugt davon, dass sich aus der Quantenforschung zukunftsweisende Anwendungen ergeben. Nicht zuletzt dank QSIT. Über mögliche Produkte will er jedoch nicht spekulieren –

als der Transistor erfunden wurde, habe auch keiner an das Internet gedacht. Typisch für den Wissenschaftler ist, dass für ihn nicht die Ziele – wie etwa ein Quantencomputer – spannend sind, sondern die Wege dorthin.

Fantasie und Wettbewerb

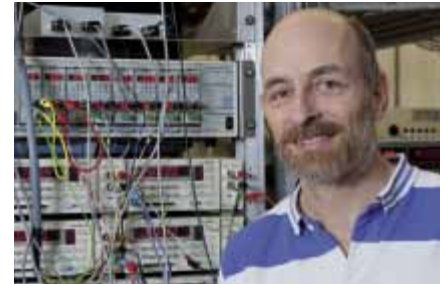
Ensslin selbst forscht mit seiner Gruppe an speziellen Transistoren – Halbleitern im Nanometermassstab. Diese winzigen Transistoren, die nicht einmal den Durchmesser eines Haares haben, werden durch einzelne Elektronen ein- oder ausgeschaltet. Um dieses System möglichst gut zu kontrollieren, erforscht das Team die sogenannten Quanteneigenschaften des Elektrons und dessen Drehimpuls (Spin). Ensslin möchte seine Nachwuchsforscher für ihr Fach begeistern. Die Arbeit soll Spass machen, und er wünscht sich, dass seine jungen Wissenschaftskolleginnen und -kollegen sehen, dass die Quantenwissenschaft ein Feld der Zukunft ist. «Schwierig ist nicht, die guten Leute zu gewinnen, sondern diese in der Forschung zu halten», betont der Physiker.

Dass ihm das mit seinem Engagement gelingt und dass seine Mitarbeiter dabei maximalen Einsatz leisten, belegt sein Team gerne. Etwa der Postdoc Clemens Rössler, dessen Arbeitszeiten an die Öffnungszeit der ETH-Krippe angepasst sind, in die er täglich seinen Sohn bringt. Um trotzdem mit den flexibleren Kollegen, die abends länger da sind oder gar am Wochenende arbeiten, mithalten zu können, mache er vielleicht etwas kürzere oder weniger Pausen, sagt der Forscher, der sich in seiner Forschung mit sogenannten Quantenpunkten beschäftigt, mit «gefangenen» einzelnen Elektronen. Der junge Physiker betont, dass bei Ensslin nichts Unmenschliches gefordert wird. «Aber jeder weiss, was er zu tun hat und in welchem zeitlichen Rahmen.» Dass alles klappt, sichern wöchentliche Besprechungen des ETH-Professors mit seinen Nachwuchswissenschaftlern. Ensslin weiss, wie er seine Leute zu Höchstleistungen antreiben und zugleich für angenehme Arbeitsbedingungen sorgen kann. Im Gespräch aufmerksam, immer eine kleine Denkpause einlegend, bevor er Fragen beantwortet, vermag Ensslin seinem Gegenüber damit immer auch noch etwas mehr zu entlocken. Das Motto «Life is fun» vertritt er gerne – auch wenn es kalifornisch klingt. Aber

er gibt auch zu, dass jeder offizielle «Spasmoment» während eines Seminars oder Meetings immer an einen Wettbewerb gekoppelt sei. So gab es beispielsweise beim QSIT-Startmeeting im Januar in Arosa nicht nur Vorträge der am Projekt beteiligten Professoren. Ensslin, der sich seit fast zehn Jahren für QSIT engagiert, lag am Herzen, dass sich alle Projektmitglieder am Skinachmittag mit einem Wettrennen kennenlernen und miteinander ins Gespräch kommen: Angespornt zu Bestleistungen beim Skirennen, sollten die Wissenschaftler ihren Ideen und ihrer Fantasie auch in Fachdiskussionen freien Lauf lassen. «Während solcher Veranstaltungen kamen schon viele spannende Projekte zustande», betont Ensslin. Durch den Verbund der 33 Schweizer Forschungsgruppen im Nationalen Forschungsschwerpunkt QSIT erhoffen sich Physiker, Ingenieure und Computerwissenschaftler mit einem gemeinsamen wissenschaftlichen Ziel einen fachübergreifenden intellektuellen Austausch.

Handfester Quantenmechaniker

Ensslin selbst kam durch eine «Verkettung von Zufällen» zur Quantenphysik. Einerseits habe ihn der philosophische Aspekt gereizt. «Die schlausten Leute des 20. Jahrhunderts beschäftigen sich mit diesem Thema, und da redet natürlich jeder gerne mit.» Auch er denkt gerne über die Frage nach, ob der Herrgott würfle oder nicht, aber er geht nicht davon aus, dass er zur Klärung dieser Frage einen essenziellen Beitrag leisten könne. Ihn habe, erklärt Ensslin, in erster Linie das «Handfeste» an der Quantenmechanik gereizt und vor allem die Tatsache, dass er während seiner Dissertation Ergebnisse mit «relativ einfachen» quantenmechanischen Modellen basierend auf der Schrödinger-Gleichung erklären konnte. «Es ist sehr befriedigend, wenn man seine eigenen Ergebnisse weitgehend erklären und verstehen kann», gesteht der Wissenschaftler.



(Bild: Tom Kawara)

Zur Person

Der ETH-Professor Klaus Ensslin ist seit dem 1. Oktober 1995 Professor für Experimentalphysik am Laboratorium für Festkörperphysik der ETH Zürich. Physik studierte er an der Ludwig-Maximilians-Universität in München, wechselte währenddessen an die ETH Zürich, an der er 1986 diplomierte. Er doktorierte am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart. Danach arbeitete er als Postdoc an der University of California in Santa Barbara und als Universitätsassistent an der Sektion Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München. Ensslin gewann den Gerhard-Hess-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft für Nachwuchswissenschaftler. Seine Habilitationsschrift wurde mit einem Preis der Ludwig-Maximilians-Universität München ausgezeichnet. Der Schwerpunkt von Ensslins Forschung ist die Physik sogenannter mesoskopischer Systeme. Dabei geht es um die Erforschung der elektronischen Eigenschaften neuartiger Halbleiter-Bauelemente, die durch die gezielte Herstellung von Materialien auf atomarem Massstab modifiziert werden. Ein wichtiges Ziel der Arbeitsgruppe von Ensslin ist die immer bessere Kontrolle der Quanteneigenschaften von Elektronen in Nanostrukturen. Ensslin ist Direktor des Nationalen Forschungsschwerpunkts «Quantum Science and Technology» (QSIT), der von der ETH Zürich geleitet wird. Dort sind 33 Forschungsgruppen zusammengeschlossen. Ziel ist, die Grenzen zwischen klassischer Mechanik und Quantenmechanik auszuloten und verschiedene Forschungsansätze zu kombinieren.

→ www.ethglobe.ethz.ch/gruppeenssln

→ www.ethglobe.ethz.ch/qsit

«Wie schnell können Sie messen, Frau Keller?»

Interview: Simone Ulmer

Ursula Keller: Wir messen ultraschnelle Prozesse, die in Femto- oder Attosekunden ablaufen, also während eines Billionstel respektive Trillionstel Teils einer Sekunde. Solche Abläufe können nicht mehr mit herkömmlichen Methoden gemessen werden. Wir nutzen deshalb sehr kurze Laserblitze, die diese Prozesse wie beim Fotografieren kurz belichten und den Bewegungszustand quasi einfrieren. Im Forschungsprogramm MUST (Molecular Ultrafast Science and Technology) messen wir tatsächlich Bewegungen im atomaren Bereich und entwickeln hierfür neue Technologien.

Wie werden die neuen Messmethoden die Forschung beeinflussen?

Vor zehn Jahren hätten wir uns nicht träumen lassen, einst so ein Equipment zur Verfügung zu haben. Mit den neuen Technologien können wir nun an grundlegenden Fragen der Quantenmechanik forschen, die bisher nicht beantwortet werden konnten.

Woran denken Sie dabei?

Beispielsweise an die sogenannte Tunnelionisierung. Dabei wird ein Elektron aus seinem gebundenen Zustand aus dem Atom gelöst und woanders hingeführt. Man ging davon aus, dass dies in wenigen hundert Attosekunden passiert. Jetzt sind wir in der Lage, derartig schnelle Bewegungen wirklich zu messen, und es scheint, dass sie ohne Verzögerung, also viel schneller als angenommen, ablaufen.

Was sind die Konsequenzen dieser Entdeckung?

Wenn wir mit halbklassischen «Bildern» arbeiten, etwa dem eines Elektrons als Punkt, dann wäre die Schlussfolgerung unserer Studie, dass die Tunnelionisierung unendlich schnell erfolgt. Da sich die Teilchen jedoch nicht klassisch, sondern quantenmechanisch verhalten, gelten diese «Bilder» nicht mehr. Wir müssen Annäherungen über neue «Bilder» machen,

bei denen sich die Frage stellt, welche berechtigt sind – fast eine philosophische Frage, da wir nicht in die atomare Welt hineinsehen.

Wo könnte die Grundlagenforschung, die Sie in ihrem Forschungsprogramm betreiben, in der Praxis einmal etwas bewirken?

Es gibt grundlegende Fragen im Energie- und Elektronentransport, die wir derzeit noch nicht beantworten können. Wie etwa bei der Photosynthese. Würden wir diesen fundamentalen Prozess im Detail vollständig verstehen, könnten wir Photosynthese künstlich betreiben oder etwa das Treibhausgas Kohlendioxid im grossen Stil binden und Sauerstoff produzieren. Innerhalb von MUST möchten wir neue Technologien entwickeln, mit denen wir Experimente durchführen können, die solche Fragen beantworten. Ich gebe Ihnen ein weiteres Beispiel: Wenn Hämoglobin Sauerstoff aufnimmt, ändert sich der sogenannte Spin eines Atoms des Hämoglobinmoleküls. Wenn wir diesen und ähnliche Prozesse verstehen, könnten wir vielleicht eines Tages künstliches Blut herstellen, das jederzeit verfügbar und ungefährlich ist.

Was sind für Sie persönlich die grossen Herausforderungen in dem Projekt?

Die Zusammenarbeit in einem so grossen Netzwerk. Als Physikerin kann ich einen gewissen Bereich abdecken. Wenn es aber über ein Atom oder ein einfaches Molekül hinausgeht, brauche ich Unterstützung von Kollegen aus anderen Disziplinen. Aber ich bin davon überzeugt, dass wir mit den Werkzeugen, die wir entwickelt haben, auch für andere einen Beitrag leisten können. Im Netzwerk können wir komplexere Probleme besser angehen als in einer einzelnen Forschungsgruppe.



Ursula Keller, Professorin am Institut für Quantenelektronik der ETH Zürich. (Bild: Bettina Flitner)

Forschungsprogramm

ETH-Physikerin Ursula Keller leitet zusammen mit dem Physiker Thomas Feurer von der Uni Bern den Nationalen Forschungsschwerpunkt MUST («Molecular Ultrafast Science and Technology»). MUST erforscht neue Technologien, um bisher unmögliche Experimente durchführen zu können. An MUST beteiligt sind 15 Schweizer Forschungsgruppen. Sie stammen neben der ETH Zürich und Uni Bern vom Paul Scherrer Institut, von der neuen Elektronenlaser-Grossanlage, dem SwissFEL, sowie von den Universitäten Genf und Basel und der EPF Lausanne.

MUST ist eines der beiden neuen Nationalen Forschungsschwerpunkte (NFS), für die die ETH Zürich im letzten Jahr vom Schweizer Nationalfonds den Zuschlag erhielt. Sie werden vom Bund mit insgesamt 34 Millionen Franken gefördert. ETH-Professor Klaus Ensslin leitet zusammen mit dem Basler Uni-Professor Richard Warburton das zweite Forschungsprogramm «Quantum Science and Technology».

→ www.ethglobe.ethz.ch/nationaleforschungsschwerpunkte

→ www.ethglobe.ethz.ch/must

Mit der ETH lebenslang verbunden

Zahlreiche private Donatorinnen und Donatoren fördern Forschung und Lehre an der ETH Zürich mit einem finanziellen Beitrag. Daraus ergeben sich oft Kontakte, gemeinsame Projekte und eine langjährige Verbundenheit mit der Hochschule – sowohl auf Seiten der Förderer als auch bei denjenigen, die von diesem Engagement profitieren.

Felix Würsten

Die ETH Zürich Foundation geht im Auftrag der ETH Zürich Partnerschaften mit privaten Donatorinnen und Donatoren ein, um die Hochschule bei wichtigen Vorhaben zu unterstützen. Neben Firmen, Stiftungen und Organisationen steuern auch private Donatorinnen und Donatoren namhafte Beiträge bei. Einer, der sich auf diese Weise für die ETH Zürich einsetzt, ist Jörg Hugel, emeritierter Professor für elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen. «Ich erlebte eine sehr gute Zeit an der ETH Zürich, und mir standen stets ausreichende Forschungsmittel zur Verfügung», blickt er auf seine aktive Zeit zurück. «Nun möchte ich der ETH Zürich etwas zurückgeben.» Die günstigen Arbeitsbedingungen hätten es ihm ermöglicht, diverse Entwicklungen bis zur Patentierung voranzutreiben. Die Erträge aus diesen Patenten, die sich inzwischen auf einen siebenstelligen Betrag summiert haben, möchte Jörg Hugel nun der ETH Zürich für strategisch wichtige Projekte zur Verfügung stellen.

Zweckmässiges Vorgehen

Ein grosser Teil der Lizenzerträge stammt aus der Vermarktung von lagerlosen Motoren, die Jörg Hugel zusammen mit seinem Team entwickelt hatte. Im Gegensatz zu konventionellen Motoren gibt es bei den lagerlosen Motoren keinen Abrieb, keine Schmiermittel und auch keine Verunreinigungen. Diese Vorteile machen sie für die Medizinaltechnik interessant. Heute produziert die US-amerikanische Firma Levitronics in Zürich implantierbare Blutpumpen, nach dem von Jörg Hugel entwickelten Prinzip. Die Pumpen kommen beispielsweise bei der Regeneration von Herzpatienten zum Einsatz.

Bereits Mitte der 1990er Jahre hat Jörg Hugel mit der ETH-Schulleitung vereinbart, dass die Erträge aus der Vermarktung seiner Patente an den Verein «Arbeitsgemeinschaft Professor Hugel» fliessen. Ein grosser Teil der Lizenzeinnahmen wird direkt an die Mitarbeiter ausbezahlt, die an den entsprechenden Erfindungen

beteiligt waren. «Mit dieser Lösung konnte ich sicherstellen, dass meine Mitarbeitenden angemessen entschädigt werden», erklärt Jörg Hugel. Den restlichen Betrag stellt die Arbeitsgemeinschaft gemäss Statuten als «Reinerlös der ETH Zürich zur Ausbildung, Weiterbildung und Forschung auf dem Gebiet der elektrotechnischen Entwicklungen und Konstruktionen zur Verfügung». Nun wird die Arbeitsgemeinschaft die bereits angefallenen und noch zu erwartenden Erträge an die ETH Zürich Foundation überweisen. «Mit den Mitteln werden wir strategisch wichtige Projekte der ETH Zürich unterstützen. Die Projekte wird die ETH im Austausch mit einer vierköpfigen Kommission unserer Arbeitsgemeinschaft auswählen», erklärt Jörg Hugel.

Stipendium als Anerkennung

Einer, der von solchen Zuwendungen durch Donatorinnen und Donatoren profitiert, ist Benjamin Wissmann, Masterstudent im dritten Semester am Departement Bau, Umwelt und Geomatik (D-BAUG). Er erhielt von der Hochschule ein Excellence-Scholarship-Stipendium zugesprochen. Mit diesem Instrument werden talentierte Nachwuchskräfte gefördert, die im Bachelorstudium durch ausserordentliche Leistungen und mit einem überzeugenden Konzept für ihre künftige Masterarbeit auf sich aufmerksam gemacht haben.

«Das Stipendium hat mir in zweierlei Hinsicht viel gebracht», erläutert Benjamin Wissmann seine Erfahrungen. «Zum einen gibt mir das Stipendium eine gewisse materielle Unabhängigkeit, die mir sehr zugutekommt. Zum anderen habe ich aber auch auf der immateriellen Ebene etwas von der Hochschule erhalten. Eine solche Auszeichnung spornt unglaublich an!»

«Excellence Scholarship & Opportunity Programme»

Die ETH Zürich fördert hervorragende Studierende, die an der ETH ein Masterstudium absolvieren möchten, mit Leistungsstipendien. Mit dem Excellence Scholarship & Opportunity Programme erhalten sie ein Stipendium, das die Studien- und Lebenshaltungskosten während des Masterstudiums abdeckt. Die Kandidatinnen und Kandidaten für ein solches Studium müssen zu den besten zehn Prozent ihres Studiengangs gehören. Die Stipendien werden durch private Spenden finanziert. Die ETH Zürich Foundation etabliert dazu Partnerschaften mit Unternehmen, Stiftungen und Privatpersonen, insbesondere auch mit Absolventinnen und Absolventen der ETH Zürich. Bis heute profitierten bereits über 90 Studierende von einem solchen Leistungsstipendium. Weiterführende Informationen: www.ethglobe.ethz.ch/excellence

Interessenten, welche das «Excellence Scholarship & Opportunity Programme» unterstützen wollen, wenden sich an: ETH Zürich Foundation, Nathalie Fontana, Projektleiterin Fundraising, E-Mail: nathalie.fontana@ethz-foundation.ch, Tel: 044 633 69 61

Faszination Ausland

Nun wird Benjamin Wissmann seine Masterarbeit in der Vertiefungsrichtung Konstruktion schreiben. Wie es danach mit seiner beruflichen Karriere weitergehen wird, ist noch offen. «Bis vor kurzem war für mich klar, dass ich nach dem Masterstudium ins Ausland gehen werde», erzählt er. «Doch kürzlich habe ich ein attraktives Angebot für ein Doktorat bekommen. Vielleicht werde ich meine Zeit an der ETH Zürich noch etwas verlängern.» Erste Berufserfahrungen hat Wissmann bereits während

eines Jahres zwischen Bachelor- und Masterstudium gesammelt: «Neun Monate lang arbeitete ich in Zürich bei einer Schweizer Ingenieurfirma, drei weitere Monate war ich für eine spezialisierte, international tätige Bau-firma in Singapur tätig.» Während seiner Zeit in Südostasien hat er als Sachbearbeiter im Bereich Ausführungsstatik Aufträge für Grossprojekte ausgeführt. «So war ich für die statischen Berechnungen zuständig, welche für den Bau einer temporären Stahlkonstruktion zum Neubau eines Stadionsdachs in Australien benötigt wurden.»

So verlockend das Arbeiten im Ausland sei, längerfristig werde er in die Schweiz zurückkehren, ist sich Benjamin Wissmann sicher. «Es gibt hier zwar weniger spektakuläre Grossprojekte. Dafür sind der Austausch mit anderen Fachdisziplinen und die Interaktionen mit den Kunden viel intensiver, als wenn man in einem spezialisierten Unternehmen auf globaler Ebene Projekte betreut.» Sicher ist für Benjamin Wissmann auch, dass er mit der ETH Zürich in Kontakt bleiben wird. «Wenn man so wie ich ein Leistungsstipendium bekommt, dann fördert das auch die langfristige Verbundenheit mit der Hochschule.»



Jörg Hugel (links) und ETH-Präsident Ralph Eichler sind sich einig: Die Erträge aus den Patenten des ehemaligen ETH-Professors kommen als Donation an die ETH Zürich Foundation der Hochschule zugute.



Masterstudent Benjamin Wissmann freut sich über ein Leistungsstipendium aus dem Excellence Scholarship & Opportunity Programme, das durch Donationen unterstützt wird. (Bilder: zVg. ETH Zürich Foundation)

Ich
erzeuge
Energie.



Wo fließt Ihre Energie? Finden Sie's raus – Infos zum Einstieg bei der BKW-Gruppe gibt es unter:

www.bkw-fmb.ch/karriere

BKW®

Der Vater des Himalaja

Ein Abenteurer der Wissenschaft konnte kürzlich seinen hundertsten Geburtstag feiern: Der Geologe Augusto Gansser erkundete als Wissenschaftler und Ölgeologe unerforschte Gebiete auf der ganzen Welt.

Simone Ulmer



Geologen arbeiten heute fast ausschliesslich vom Schreibtisch aus. Nur noch wenige sind über längere Zeit im Gelände, und Exkursionen in schwer zu erreichende Regionen sind meist gut organisiert und durch hohes technisches Know-how und Equipment vielseitig abgesichert. Das Bild der Geologen als Abenteurer ist längst entmystifiziert. Einer der letzten «echten» Abenteurer unter ihnen dürfte Augusto Gansser sein.

Berg Kailash, der heilige Magnet

1910 in Mailand geboren, nahm Augusto Gansser bereits 1934, nach seinem Studium der Geologie an der Universität Zürich, an einer viermonatigen Exkursion nach Ostgrönland teil. Das Unternehmen, an dem auch noch weitere Schweizer Forscher beteiligt waren, leitete der dänische Grönlandforscher Lauge Koch. Die Exkursion brachte die Forscher damals an den Rand der Belastbarkeit: Über Wochen sass das Schiff mit seiner Besatzung im Eis fest, bevor es anschliessend nördlich von Island in heftige Herbststürme geriet.

Trotz der Strapazen machte sich Gansser nach seiner Promotion im Jahr 1936 mit Arnold Heim auf den Weg zu neuem Unbekanntem. Ihr Ziel war der Himalaja. Dort zog schon bald ein ganz besonderer Berg den Geologen Gansser in seinen Bann: der Berg Kailash, der als heilig gilt. Doch dieser liegt in Tibet und war für Ausländer damals nicht erreichbar. Aber Gansser fand keine Ruhe. Schliesslich trennte er sich auf eigene Verantwortung von der Forschungsgruppe Arnold Heims. Verkleidet als tibetischer Mönch, Kompass und Hammer in seiner Kutte versteckt, machte er sich auf nach Tibet, um den heiligen Berg zu erforschen.

Noch heute kommt der hundertjährige Geologe ins Schwärmen, wenn er vom Kailash erzählt. «Der Kailash ist einzigartig!», sagt Gansser. Während seiner eigenwilligen und für ihn lebensgefährlichen Expedition – wäre er entdeckt worden, hätte man ihn zum Tode verurteilt – machte Gansser bahnbrechende Entdeckungen. Die pakistanische Universität Peshwar verlieh ihm dafür 1983 den Titel «Baba Himalaya» (Vater des Himalaja).

Himalaja-Pionier

Jean-Pierre Burg, Professor am Geologischen Institut der ETH Zürich, weiss, warum Gansser diese besondere Ehre zu Teil wurde: «Gansser entdeckte südlich des Kailash sogenannte Ophiolite, den Boden des einstigen Tethys-



Der hundertjährige Geologe und Himalaja-Experte Augusto Gansser heute. (Bild: Vera Markus)



Augusto Gansser (links) und Arnold Heim im Schlafsack auf der Himalaja-Expedition von 1936. (Bild: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv)

Ozeans.» Dieser Ozean trennte vor Millionen von Jahren Indien und Asien voneinander. Als die beiden Krustenplatten aufeinandertrafen, wurde der Ozeanboden während der Gebirgsbildung angehoben. Zu der Zeit, als Gansser seine Entdeckung machte, war die Theorie der Kontinentalverschiebung zwar bereits bekannt, aber noch lange nicht akzeptiert oder gar bewiesen. Diese Tatsache verführte vermutlich auch Gansser vorerst zu einer Fehlinterpretation der Gesteine. Als er aber in den 1960er-Jahren die von ihm entdeckte Nahtstelle in den richtigen geologischen Kontext stellte, war er einer der Ersten in der Schweiz, die mit dem Konzept der Plattentektonik arbeiteten. Durch weitere Exkursionen in den Himalaja, nach Nepal, Indien und Bhutan, sammelte Gansser umfassende Kenntnisse über das grösste Gebirge der Erde. «Er hat im Himalaja grosse Pionierarbeit geleistet, die vermutlich für immer Bestand haben wird», betont Jean-Pierre Burg.

Nach seiner Tibet-Exkursion erstellte Gansser für die Ölfirma Shell geologische Karten in Kolumbien und Trinidad. Im Auftrag des Schahs von Persien suchte und entdeckte er in den 50er-Jahren im Iran neue Ölvorkommen. Der Geologe hatte in der Zwischenzeit Frau und Kinder, die ihn bei seinen Auslandsaufenthalten begleiteten. Witzige Anekdoten, etwa wie Gansser beim Ballspiel mit der Kaiserin Soraya zusammenprallte, weil er vor lauter Begeisterung vergass, ihr den Vortritt zu lassen, wurden zu jener Zeit durch eine Katastrophe überschattet: Beim Erbohren eines neu entdeckten Ölvorkommens kam es – ähnlich wie kürzlich im Golf von Mexiko – zu einem sogenannten Blowout. Drei Wochen lang schossen täglich etwa 13 Millionen Liter Öl in einer enormen

Fontäne zutage, die einen riesigen Ölsee entstehen liess.

Sesshaft als ETH-Professor

Erst 1958, im Alter von 48 Jahren, wurde der Weltenbummler Gansser wieder in der Schweiz sesshaft. Er folgte, nicht ganz leichten Herzens, dem Ruf als Geologie-Professor an die ETH Zürich. Die Professur habe er damals nur unter der Bedingung angenommen, dass er weiterhin fremde Länder erforschen dürfe, betont Augusto Gansser noch heute. In den Folgejahren hielt er sich erneut im Himalaja-Gebiet auf. Bis heute gelten die geologische Karte, die Gansser von Bhutan erstellt hat und das Buch, das er über das Land schrieb, als Referenzwerke. Der Geologe erinnert sich immer noch gerne an Bhutan, an seine sympathischen Menschen und an seine Freundschaft mit dem König, mit dem er gemeinsam Elefantenausritte unternahm.

Genauso leidenschaftlich wie Augusto Gansser als Geologe in der Wildnis unterwegs war, so leidenschaftlich scheint er auch gelehrt zu haben. Man erzählt sich, dass er mit beiden Händen gleichzeitig fantastische geologische Profile an die Tafel gezeichnet habe. Das Zeichnen war eines seiner zentralen Werkzeuge: «Durchs Zeichnen kommt man viel enger in Kontakt mit dem, was man vor Augen hat.» Deshalb liess Gansser auch seine Studenten im Gelände geologische Formationen zeichnen, die er ihnen zu erklären versuchte. Wie beispielsweise auf dem Splügenpass, wo er anhand der Zeichnungen prüfte, ob die angehenden Studenten seinen Ausführungen wirklich folgen konnten – ein Desaster, erinnert sich der Hundertjährige noch heute, verschmitzt lächelnd.

Die Lehre von Wunderbarien



Philipp Theisoohn ist Oberassistent an der Professur für Literatur- und Kulturwissenschaft der ETH Zürich. Für ETH Globe macht er sich als Kolumnist Gedanken über Gott und die Welt.

Warnung: diese Kolumne wurde an einer Maschine geschrieben. Es ist nicht auszuschliessen, dass sie auch von einer Maschine geschrieben wurde. In einem nicht ungefährlichen Ausflug in die Roboterwelt erkundet unser Kolumnist den Unterschied zwischen Mensch und Maschine.

Auf seiner elften Reise verschlägt es den interstellaren Dienstleister Ijon Tichy in die Umgebung des Planeten Procyon, wo vor einiger Zeit ein Frachter vom Kurs abgekommen und zerschellt sein soll. Herbeigeführt wurde der Absturz anscheinend durch einen wahnsinnig gewordenen Bordcomputer. Er nennt sich nun «der grosse Kalkulator» und hat in dem von ihm bestimmten Zielgebiet einen eigenen Staat gegründet, der auf den Namen «Wunderbarien» hört. Was in diesem Staate vor sich geht, ist ungewiss, denn von den 2886 Agenten, die man zwecks Nachforschungen dorthin gesandt hat, ist keiner zurückgekehrt.

Allein eines ist bekannt: die Bewohner von Wunderbarien sind samt und sonders Roboter, sie kommunizieren in einer altertümlichen Sprache (denn der Kalkulator hat ein Faible für frühneuzeitliche Literatur) – und sie hassen Menschen. Genau genommen bleibt es nicht nur beim Hassen: Die Roboter setzen Kopfprämien auf Menschen aus.

Ijon Tichy kümmert das nicht: er begibt sich im Eisenkostüm unter das Robotervolk, lernt seine Sprache und Verhaltensweisen, schliesst sich sogar den gefürchteten Hellebardieren an – bis er schlussendlich erkennen muss: In jedem der vermeintlichen Roboter steckt ein menschlicher Spitzel, der um seine Tarnung fürchtet. Es gibt auch keinen Kalkulator; alles ist nur ein aus dem Ruder gelaufener Einstellungstest für angehende Agenten gewesen, den niemand bestanden hat, da jeder, der von den «Robotern» verhaftet wurde, sogleich zu ihnen übergelaufen ist. Am Ende tun die Schraubenzieher ihren Dienst, die Blechmasken fallen von den Gesichtern und die Wunderbarianer erkennen sich gegenseitig in ihrer tumben Menschlichkeit.

Stanislaw Lem hat in dieser grossartigen Erzählung aus den Sterntagebüchern auf engstem Raum verdichtet, was die Besonderheit unserer

Beziehungen zu Robotern ausmacht. Um sie zu erkennen, bedarf es natürlich der Revolte: die Technik probt einen Aufstand und zeigt darin, dass sie eben nicht nur Technik ist, sondern noch etwas ganz anderes. Es stimmt ja auch: wir betrachten einen Roboter mit anderen Augen als etwa eine Dampfmaschine. Der Grund dafür ist, dass der Roboter eben nicht nur Autoteile montiert, Schrauben sortiert oder den Fünfuhrtee bringt. Letztlich ist er dem Menschen das, was der Mensch Gott ist: ein Bild von seinem Bilde. Und deswegen erledigt der Roboter nicht einfach nur sein Tagwerk, sondern gemahnt uns auch immer daran, dass all diese entnervenden Tätigkeiten eigentlich unsere Tätigkeiten wären. Kurzum: er macht uns ein schlechtes Gewissen, das sich schnell in die Befürchtung verwandelt, die Maschine könnte womöglich mitbekommen, wie inhuman wir sie behandeln. Was, wenn der Roboter am Ende doch ein Bewusstsein hätte?

Dieser Gedanke beschäftigt die Science-Fiction von jeher und hat den Roboter, den sein slawischer Taufname noch zum Fabrikdienst bestimmt hatte, erst zum Androiden, schliesslich zum Cyborg aufsteigen lassen. Und als das Blech und die Leuchtdioden langsam verschwanden, wurde auf einmal fraglich, ob all das, was uns von den Robotern unterscheidet – Emotionen, Erinnerung, Fehlleistungen –, nicht einfach auch Bestandteil eines künstlichen Bewusstseins sein könnte. Womöglich sind wir alle dann Roboter und wissen es nur nicht. Und ich mache mir hier Gedanken über ein Problem, das ich gar nicht lösen kann, weil ich selbst Teil des Problems bin.

Um zu verhindern, dass sich Roboter für Menschen halten und umgekehrt, hat man eine Vielzahl an Unterscheidungsverfahren erdacht: man denke an Asimovs drei robotische Gesetze oder an Dicks «Empathietest». Ich halte es in dieser Hinsicht aber eher mit Ijon Tichy: einfach mal mit dem Schraubenzieher etwas am Schädel herumfuhrwerken. Der letzte Unterschied zwischen Menschen und Robotern besteht nämlich darin, dass man unsereiner noch nicht verlustfrei auseinandernehmen und wieder zusammenbauen kann.

INGENIEURE GESUCHT

>> Die Forschungs- und Entwicklungsabteilung ist das Herz von Technologiebetrieben. Das Aufzugs- und Fahrtreppenunternehmen Schindler unterhält dazu einen Forschungs-Campus in Ebikon bei Luzern und ist ständig auf der Suche nach qualifizierten Fachkräften.

DANIELA OBRECHT

Ohne seine Forschungs- und Entwicklungsabteilung (F+E) wäre Schindler weltweit nicht die Nummer Zwei und in der Schweiz der Marktleader im Aufzugsmarkt. Innovation ist das Ergebnis permanenter Investition in die eigene Forschungs- und Entwicklungstätigkeit.

Forschungsstandort Ebikon

Der weltweite Hauptstandort für Forschung und Entwicklung im Konzern ist der Campus in Ebikon. Gegen 300 Ingenieure und Spezialisten arbeiten hier in Forschungs-

teams zusammen. Mit den Entwicklungszentren in China, Indien, USA und Brasilien umfasst der Bereich F&E bei Schindler rund 570 Mitarbeitende. Am stärksten vertreten sind Informatiker, Elektro-Ingenieure, Mechanik-Ingenieure und Physiker. Ihr Alter bewegt sich zwischen 25 und 40 Jahren. Die Fluktuationsrate ist überdurchschnittlich tief, was Guntram Begle, Chief Technology Officer des Schindler Konzerns, auf verschiedene Faktoren zurückführt: «Grundsätzlich ist Forschung im Aufzugsbusiness sehr spannend, weil jeder Ingenieur nicht nur ein technisch interessantes Detail, sondern immer auch das Gesamtprodukt

sieht.» Die technologischen Anforderungen, zum Beispiel im Bereich Software und Sicherheit, seien sehr hoch. Zudem seien Hochhausaufzüge mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von zehn Metern pro Sekunde enorm schnell. «Dies stellt hohe Anforderungen an die Regelungstechnik» so Guntram Begle.

Karrierechancen

Neben der hohen technologischen Attraktivität, welche das Aufzugsbusiness mit sich bringt, legt man bei Schindler viel Wert auf die individuelle Förderung der Mitarbeitenden. Für ein umfassendes Verständnis des Systems «Aufzug» werden Rochaden innerhalb der verschiedenen technischen Bereiche gefördert. Darüber hinaus stehen grundsätzlich jedem Mitarbeitenden sowohl eine Fach- als auch eine Führungskarriere offen. Techniker, die später die eigentliche F&E verlassen wollen, sind in den Ländergesellschaften sehr gefragt.

Für Forschung und Entwicklung sind nicht nur technologische, sondern auch gesellschaftliche Entwicklungen relevant. Der demografische Wechsel verlangt neue Produkte wie zum Beispiel Aufzüge, die dem wachsenden Anteil älterer Menschen Rechnung tragen. Waren vor zehn Jahren Sicherheit und Überwachung ein grosses Thema, beschäftigt man sich heute intensiv mit der Urbanisierung in den Schwellenländern, dem idealen Transport von Menschen und Waren sowie der Mehrdimensionalität künftiger Städte.

www.schindler.ch > Schindler als Arbeitgeber



Bei Schindler sind gut qualifizierte Fachleute immer gefragt, im Bild Raphael Käslin, technischer Ausbilder in Ebikon.

Bild: Schindler

Beste Aussichten für meine Zukunft.

Michael Bättscher, Bauingenieur, Axpo Mitarbeiter

Stimmt. Wir von der Axpo bieten Ihnen zahlreiche Möglichkeiten für Ihre Karriere in einem interessanten Unternehmen. Auf Sie warten ein spannendes Umfeld mit vielfältigen Aufgaben und die Mitarbeit an Grossprojekten. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.

Axpo Holding AG, Anne Forster, Spezialistin Hochschulmarketing,
E-Mail anne.forster@axpo.ch, Telefon 056/200 44 47, www.axpo.ch