

ETH GLOBE

Das Magazin der ETH Zürich, Nr. 3 / September 2010



Intelligente Energiesysteme

Durchstich

Die neue Gotthard-
Oströhre

Durchstarten

Das ETH Career
Center

Durchbruch

Der Arzt in der
Körperzelle

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



mission control™
security services

Become a Mission Control Security Service Engineer and join us for a journey around the world.

Well-known companies, institutions and NGOs secure the availability of their crucial IT- and communications infrastructure with Mission Control Security Services in over 110 countries. Our team is constantly looking for new technically trained employees who have a solid background in computer science, and experience in internet technologies.

We offer you advanced-level internal development training, enabling you to become a certified Mission Control Security Service Engineer, working in a global, fast-paced and highly dynamic environment in our Operation Centers in Zürich and – if you like to – Sydney, Australia. Please join us on this journey around the world. www.open.ch

Grundlage für gesellschaftliche Diskussionen

→ Das Energieproblem ist hoch aktuell und gesellschaftlich bedeutend, aber auch umstritten und ideologisch belastet. Die Industrienationen konsumieren mehrfach so viel Energie wie die Entwicklungsländer, doch diese holen auf und lassen den Weltverbrauch ansteigen. Das einfach tönende Prinzip, auf der Erde genügend und zudem bezahlbare Energie bereitzustellen, ist schwierig umzusetzen. Energie lässt sich weder erzeugen noch vernichten, sondern nur von einer Form in eine andere umwandeln. Aufgrund physikalischer Gesetze haben die verschiedenen Energieformen unterschiedliche Qualitäten – so ist Sonnenenergie erneuerbar und quasi unbeschränkt verfügbar, fällt aber unregelmässig und in niedriger Dichte an. Kernbrennstoff hingegen hat eine beträchtliche Energiedichte und ist gut speicherbar, doch seine Radioaktivität verlangt hohe Sicherheitsmassnahmen. Zudem kann mit Wärmeenergie tieferer Temperatur weniger Nutzen beim Endverbraucher erreicht werden als mit solcher hoher Temperatur.

Höhere Energieeffizienz durch Technik

Der nachhaltige Einsatz von Energiere Ressourcen steht bei der ETH Zürich seit über zehn Jahren oben auf der Prioritätenliste. Ein sorgsamer Umgang mit Ressourcen bedeutet, die Materialflüsse zu minimieren. Dies beim Abbau von fossilen Energien und Uran sowie bei der Entsorgung von Kohleschlacke und Kernbrennstoffen respektive beim Ausstoss von Treibhausgasen. ETH GLOBE zeigt anhand von Forschungsprojekten, wie man Energieumwandlungen kostengünstig und mit möglichst wenig Verlusten an nutzloser Abwärme erzielen kann. Das bedeutet höhere Energieeffizienz und lässt sich durch Technik deutlich steigern. Entscheidend für solche Fortschritte ist neben der Forschung an konventionellen und neuen erneuerbaren Energieträgern auch die Ausbildung zukünftiger Ingenieure in nachhaltiger Technologie und die Sicherstel-

lung des Wissens beispielsweise in der Nukleartechnologie.

Energie hat auch mit Ökonomie, mit Lebensqualität und mit Akzeptanz der Technik in der Bevölkerung zu tun. Akzeptieren die Stimmbürger neue Stromleitungen, neue Wasserkraftwerke mit höheren Staumauern, den Ersatz bestehender Kernkraftwerke? Initiiert durch den Kanton Aargau haben Vertreter von Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft während dreier Jahre im «Energie Trialog Schweiz» (www.energetrialog.ch) verschiedene Szenarien einer nationalen Energiestrategie durchgespielt. Falls bestehende KKW nicht ersetzt werden, der CO₂-Ausstoss jedoch beschränkt bleiben soll, um eine mehr als zweigrädige Klimaerwärmung zu verhindern, und unter realistischen Steigerungsraten für die erneuerbaren Energien bleibt eine Stromlücke von rund einem Drittel des erforderlichen Verbrauchs. Dieses Resultat gilt als beachtlicher Konsens unter den Beteiligten.

Lösung zum Füllen der Stromlücke

Die Meinungen, wie diese Lücke gefüllt werden soll, gehen auseinander. Die Vorschläge reichen von Stromimporten, der CO₂-Abscheidung bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe über den KKW-Ersatz bis hin zu strengen Verbrauchsvorschriften oder der Subventionierung noch unwirtschaftlicher Technologien. Die realistische Lösung ist wohl, dass wir die meisten der formulierten Massnahmen einbeziehen müssen und sich der gesellschaftliche Dialog auf die relativen Anteile der einzelnen Lösungsvorschläge beschränken wird. Die ETH Zürich trägt mit der Erforschung wissenschaftlicher und technischer Grundlagen sowie der Ausbildung von Fachleuten wesentlich dazu bei.

Ralph Eichler

Präsident der ETH Zürich



Ralph Eichler, Präsident der ETH Zürich

3	Editorial
6	Blitzlicht – Der Natur abgeguckt
8	Kompakt – Nachrichten aus der ETH

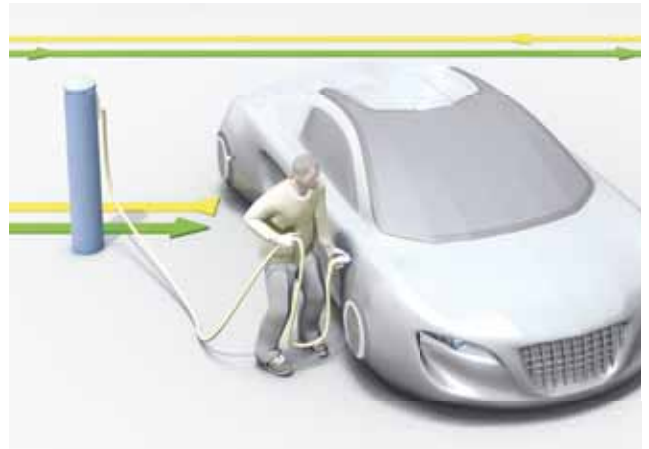
Am Puls



10 Durchbruch der Jahrhundert-Röhre

Im Oktober ist es so weit: Die Gotthard-Oströhre wird durchstochen. Über 20 Jahre haben Experten an dem gigantischen Projekt gearbeitet. Auch Wissenschaftler der ETH waren massgeblich am Erfolg beteiligt.

Fokus – Intelligente Energiesysteme



16 Die Energielandschaft im Jahre 2050

Um einen gefährlichen Temperaturanstieg auf der Erde zu verhindern, sollte jeder Schweizer bis spätestens Ende dieses Jahrhunderts nur noch eine Tonne CO_2 pro Jahr produzieren. ETH-Forscher haben eine Strategie entwickelt, wie dieses Ziel erreicht werden kann.



20 Das Haus der Zukunft

Wie lässt sich der enorme Energieverbrauch für den Bau und Unterhalt von Gebäuden reduzieren? ETH-Forscher realisieren schon heute die Visionen von morgen.

- 24 Wenn das Stromnetz mitdenkt**
Intelligente Stromnetze sind die Voraussetzung für eine klimaneutrale Stromversorgung. Doch der Weg zum so genannten «Smart Grid» ist noch weit.

- 28 Clever unterwegs**
ETH-Forscher tüfteln an völlig neuen Antriebssystemen für umweltfreundliche Autos und beleuchten mögliche Zukunftsszenarien der Elektromobilität.



- 30 Boliden unter Strom**
Mit ihrem Elektrorennwagen «Furka» räumen ETH-Studenten regelmässig Preise ab. Wie sie ihr theoretisches Wissen so erfolgreich in die Praxis umsetzen, zeigt die Reportage vom Rennen auf dem Hockenheimring.

37 Kompakt – Nachrichten aus der ETH

ETH Aktuell

- 38 Doppelte Starthilfe**
Die ETH unterstützt ihre Studierenden nicht nur vor und während des Studiums, sondern jetzt auch nach ihrem Abschluss.

Serie

- 40 Die bunte Welt der Polymere**
Ein Beispiel für den Erfolg der Grundlagenforschung.

Profil



42 Der Traum vom Zell-Computer

Mit Yaakov Benenson hat die ETH einen der Pioniere auf dem Gebiet der molekularen Computer rekrutiert. ETH Globe stellt ihn und seine bahnbrechende Forschung vor.

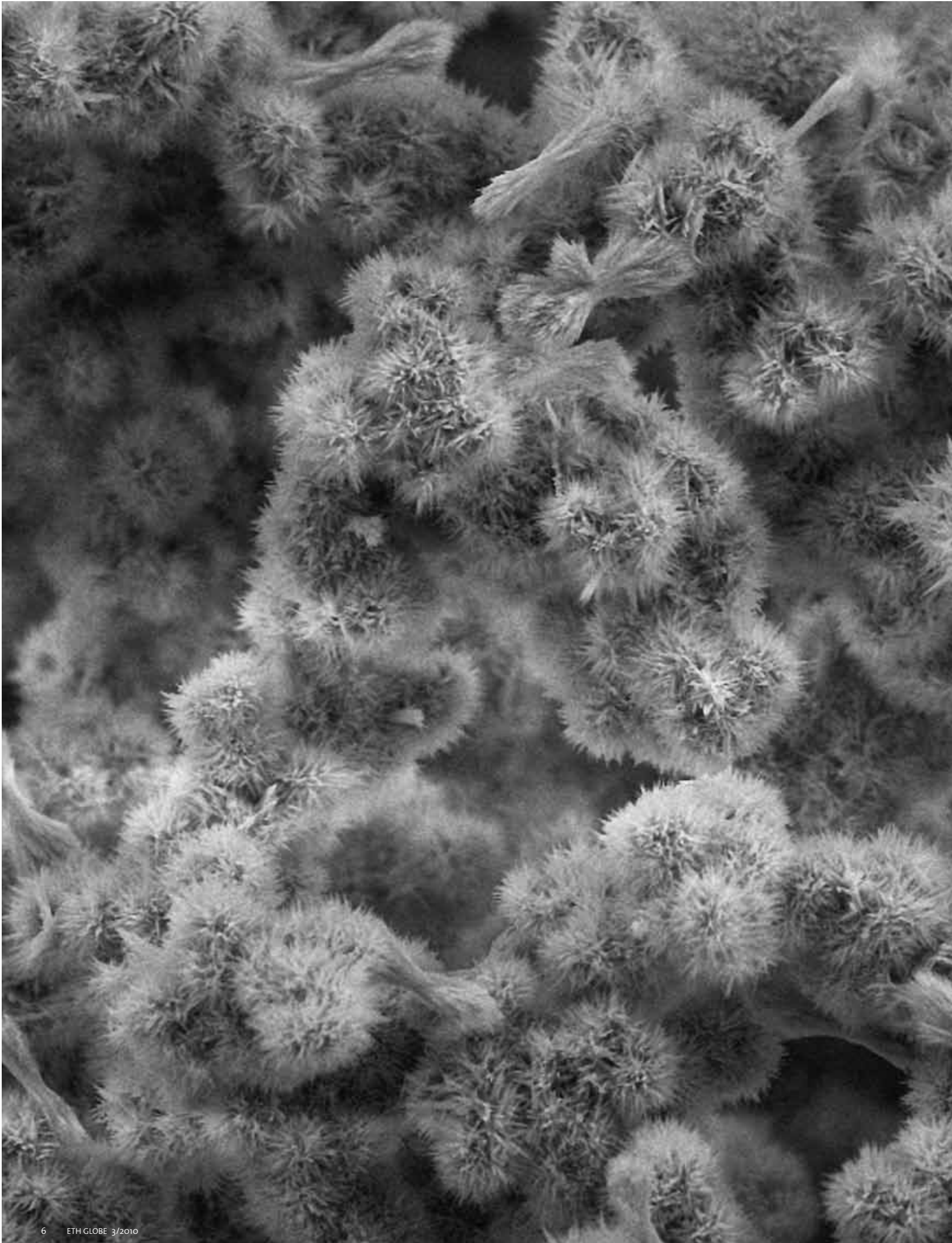
45 Nachgefragt

46 ETH Zürich Foundation

48 Historie – Kampf um die Kuppel

50 Kolumne – Theisoohns Welt

IMPRESSUM Herausgeber: ETH Zürich. **Redaktion:** Hochschulkommunikation, Thomas Langholz (Leitung), Martina Märki, Christine Heidemann. **Mitarbeit:** Claudia Hoffmann, Lukas Langhart, Florian Leu, Catarina Pietschmann, Samuel Schläfli, Philipp Theisoohn, Klaus Wilhelm, Felix Würsten. **Coverbild:** istockphoto **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:** Neidhart + Schön Group, Zürich. **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**



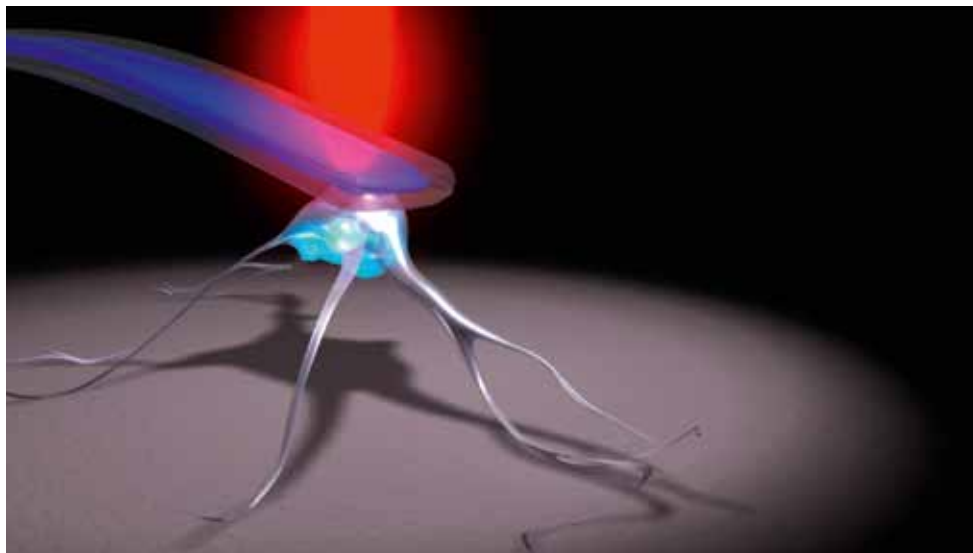


Der Natur abgeguckt

Was auf den ersten Blick wie eine Kolonie Seeigel aussieht, sind mit dem Elektronenmikroskop sichtbar gemachte Kristalle aus Kobaltoxid. Sie entstehen, wenn Kobaltchlorid und Harnstoff chemisch miteinander reagieren. Die stacheligen Gebilde sind nur etwa einen Hundertstelmillimeter gross. Sie bilden eine Oberfläche, die stark wasserabweisende Eigenschaften aufweist. Darüber fließendes Wasser kann die feinen Kristalle nicht benetzen, sondern perlt von ihnen ab. Der von den Blättern der Lotus-pflanze bekannte Effekt bewirkt, dass auf der Oberfläche befindliche Schmutzpartikel an den Wassertropfen hängen bleiben und so entfernt werden. Materialien mit dem Lotuseffekt werden bereits für schmutzabweisende Kleidung und wasserabweisende Beschichtungen, zum Beispiel von Häuserfassaden, eingesetzt. Die nanostrukturierte Oberfläche aus Kobaltoxid wurde an der ETH Zürich vom Labor für funktionelle Materialien mit Unterstützung des Schweizerischen Forschungsförderungsprogramms Nano-Tera hergestellt. Das neuartige Material könnte beispielsweise verwendet werden, um Satellitenschüsseln oder Sensoroberflächen frei von Schmutz und Staub zu halten. Die nanostrukturierte Kobaltoxid-Beschichtung ist selbstreinigend und bleibt im Kontakt mit Wasser absolut trocken.

Bild: Michael Rossier ETH Zürich

Mikro-Saugnapf für Zellen



Mit einer Mikronadel (blau), die über den Laser (rot) eines Rasterkraftmikroskops gesteuert wird, können einzelne Zellen (türkis) angesaugt und verschoben werden. (Bild: ETH Zürich)

Mit Hilfe eines Mikro-Saugnapfs ist es der Forschergruppe von Tomaso Zambelli vom Institut für Biomedizinische Technik der ETH gelungen, einzelne lebende Zellen oder Mikroben unversehrt aus einer Versuchsprobe zu «fischen». Die neue Anwendung des bereits vor einem Jahr von der Gruppe vorgestellten «Fluidic force microscope» (FluidFM), das auf der Technologie eines Rasterkraft-Mikroskops basiert, wurde zusammen mit dem Institut für Mikrobiologie entwickelt. Die Zellen werden mit einer hohlen Nadel von einem Durchmesser zwischen 0,5 und sechs Mikrometer über ein Vakuum angesaugt. Für die Kraftkontrolle der Nadel ist ein Laser verantwortlich, der die ausgeübte Kraft auf die Zelle mehrere 1000 Male pro Sekunde erfasst.

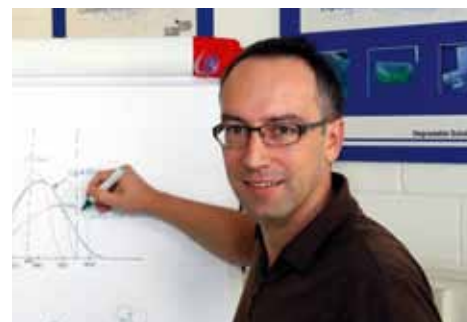
Die Forscher konnten anhand von Neuronen, Hefezellen und E-Coli-Bakterien von wenigen Mikrometern Grösse zeigen, dass sie einzelne lebende Zellen mit dem System ansaugen und neu anordnen können, ohne diese dabei zu verletzen. Mit herkömmlichen Verfahren, wie winzigen Glaspipetten, werden lebende Zellen und Mikroben bei der Behandlung oft beschädigt. Mit der neuen Technik könnten zum Beispiel einzelne Bakterien sehr gezielt aus einer Versuchsprobe entfernt und anschliessend analysiert werden, was bislang nicht möglich war. Darüber hinaus glauben die Forscher an eine weitere wichtige Anwendung ihrer Erfindung: Die Adhäsion einer Zelle, also die Kraft,

mit welcher sie am umliegenden Gewebe oder an einer anderen Unterlage «haftet», kann anhand des Saugnapfs mit einer bislang unerreichten Geschwindigkeit gemessen werden. Mit der Saugnapftechnik könnte zukünftig schnell und standardisiert überprüft werden, wie stark die Zellstrukturen von künstlichen Geweben für Implantate miteinander verbunden sind. Das Unispital Zürich hat bereits Interesse an einem solchen System für die Qualitätskontrolle von künstlichen Herzklappen angekündigt. Der Saugnapf wurde nun patentiert und soll in Zukunft vom ETH-Start-up-Unternehmen «Cytosurge» vertrieben werden.

Lückenfüller nach Mass

Nach dem Ziehen eines Zahns bleibt eine klaffende Lücke im Kiefer zurück. Dadurch besteht die Gefahr von Infektionen und Knochenabbau. Um dem vorzubeugen, entwickelte Maschineningenieur Kurt Ruffieux mit seiner Firma «Degradable Solutions» eine Wundversorgung aus bio-resorbierbarem Material. «easy-graft» wird vom Zahnarzt direkt in die Wunde gespritzt und formt als passgenaue Kopie des gezogenen Zahns aus. Das Flüssigimplantat macht teure und aufwändige Operationen als Folge einer Wundinfektion überflüssig.

Das ETH-Spin-off wurde 1999 von Kurt Ruffieux während seiner Doktorarbeit gegründet. Das Unternehmen mit mittlerweile 20 Mitarbeitern ist nach einer schwierigen Anfangszeit in die Gewinnzone gelangt und plant für 2011 den Markteintritt in Brasilien und den USA.



Kurt Ruffieux entwickelte mit seiner Firma eine Wundversorgung für den Kiefer aus bioresorbierbarem Material. (Bild: Degradable Solutions)

Rössler-Preis für Klimaforscher



ETH-Präsident Ralph Eichler mit Preisstifter Max Rössler und Preissträger Gerald Haug (v. l.). (Bild: Norbert Staub/ETH Zürich)

Der Klimageologe Gerald Haug wurde mit dem höchstdotierten Preis der ETH Zürich ausgezeichnet. Für seine wissenschaftlichen Arbeiten zum Klima der jüngeren Erdgeschichte erhielt er im Juni den mit 200 000 Franken dotierten Max-Rössler-Preis. Mit diesem soll herausragende Forschung aus Naturwissenschaften und Technik gefördert werden. 2007 schenkte Max Rössler der ETH Zürich zehn Millionen Franken, von deren Zinsen der Preis jährlich gestiftet wird.

Neuer Bewohner im Hummeldarm



Hummeln können sich auch beim Blütenbesuch mit dem neu entdeckten Darmparasiten infizieren (Bild: flickr.com)

Grosse Tiere wird man in der Schweiz kaum mehr entdecken und erstbeschreiben können. Anders in der Welt der Einzeller: Regula Schmid und Martina Tognazzo vom Institut für Integrative Biologie der ETH Zürich haben kürzlich die neue Art *Crithidia expoeki* beschrieben. Der tierische Einzeller lebt im Darm der Erdhummel *Bombus terrestris*. Die ETH-Forscherinnen stolperten eher zufällig über den Neuling. Bei genetischen Untersuchungen an der nahe verwandten Art *Crithidia bombi* stellten sie fest, dass daneben eine deutlich unterscheidbare Linie existiert. Die Unterschiede in der Erbsubstanz, insbesondere bei der mitochondrialen DNS, waren so gross, dass beide Linien Artstatus verdienten. Von Auge lassen sie sich indes kaum voneinander unterscheiden. Beide Arten besiedeln den Darm von Hummeln und können im gleichen Individuum vorkommen. Im Durchschnitt ist ein Drittel der Arbeiterinnen in einer Population infiziert. Bei Experimenten im Labor konnten infizierte Königinnen kaum mehr einen Staat gründen, infizierte Arbeiterinnen starben früher als Nichtinfizierte. Da die Parasiten wichtige Bestäuberleistungen in der Natur. Die *Crithidia*-Arten gehören zu den Trypanosomen, die bei Menschen und Tieren Krankheiten wie die Schlafkrankheit oder Leishmaniose auslösen. Regula Schmid ist nicht erstaunt, dass sie in Hummeln noch neue Arten entdecken konnte. Gerade bei einzelligen Lebewesen könnten mit molekularen Methoden eigenständige Arten identifiziert werden, die allein vom Aussehen nicht unterscheidbar sind.

Die Autoknacker der ETH

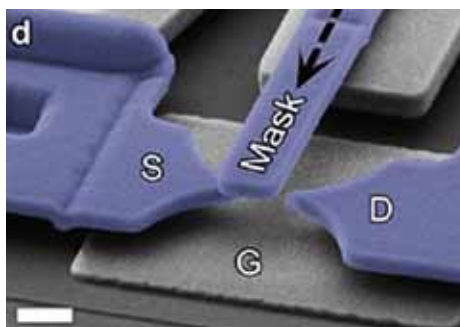
Für Autobesitzer sind sie eine bequeme Alternative zum Schlüssel: so genannte Keyless-Entry-Systeme. Wie leicht es ist, ein Auto mit einem solchen Schliesssystem zu knacken, demonstrierten ETH-Forscher kürzlich auf dem Gelände der Hochschule. Die schlüssellosen Systeme arbeiten mit im Auto verteilten Antennen. Diese senden ein codiertes Anfragesignal aus, sobald sich der Besitzer dem Fahrzeug bis auf etwa einen Meter genähert hat. Der im Keyless-Entry-Schlüssel integrierte Transponder decodiert das Anfragesignal und sendet es mit einer neuen Codierung wieder an das Auto zurück. Dort vergleicht ein Steuergerät das ausgehende mit dem eingegangenen Signal und gibt, bei korrekter Antwort, das Schloss frei. Um das Fahrzeug zu öffnen, überbrückten die Forscher den Abstand zwischen Auto und Schlüssel mit Hilfe einer Antenne und eines Empfangsgeräts. Mit dieser als Relais-Attacke bezeichneten Methode täuschten sie dem System vor, dass der Schlüssel in der Nähe ist, obwohl er sich weit weg in der Tasche des Besitzers befindet.

Völlig ausgeliefert ist ein Fahrzeuginhaber den Attacken nicht: Srdjan Capkun, Assistenzprofessor am Departement für Computerwissenschaften der ETH hat gemeinsam mit seinem Kollegen Kasper Bonne Rasmussen eine Technik entwickelt, von der bereits ein Prototyp existiert. Mit ihr ist es möglich, den Abstand zwischen Schlüssel und Auto exakt zu ermitteln.



Eine Antenne, aus einem simplen Draht geformt, genügt, um die Signale vom Auto auf das Sendergerät zu übertragen. (Bild: ETH Zürich)

Nanotransistor aus Kohlenstoff



Der neuartige Transistor mit den Kontakten (S, D), dem Substrat (G) und der Schattenmaske, welche das Kohlenstoff-Nanoröhrchen abschirmt (Bild: M. Muoth/ETH Zürich)

Die Grenzen in der konventionellen Mikro-technik, die vor allem auf Silizium basiert, sind erreicht. Kleiner und besser geht es nur mit neuen Materialien und Technologien. Die Forschung setzt deshalb grosse Hoffnungen auf Carbon Nanotubes (CNT), winzigste Röhrchen aus reinem Kohlenstoff mit wenigen Nanometern Durchmesser. ETH-Wissenschaftler um Christofer Hierold,

Professor für Mikro- und Nanosysteme der ETH Zürich, nutzen die aussergewöhnlichen Eigenschaften der CNT für die Nanoelektronik. Ihnen gelang es, einen Transistor herzustellen, der auf einer einzelnen CNT mit metallischen Nanokontakten beruht. Dazu liessen die Forscher die CNT zwischen zwei Polysiliziumspitzen wachsen. Für einen guten elektrischen Kontakt bedampften sie die Enden des nur etwa 30 Nanometer langen Röhrchens mit Palladium. Als Steueranschluss, das so genannte Gate, diente ein metallisch beschichtetes Substrat aus Silizium. Als Durchbruch werteten die Forscher, dass der Transistor keine so genannte Gate-Hysterese zeigt. Unerwünschte Verschiebungen der Einsatzspannung treten daher nicht auf. Das neue Bauteil eröffnet interessante Anwendungen für die Nanoelektronik. Die Transistoren könnten etwa in hoch empfindlichen Gas- oder Dehnungssensoren oder als Frequenzfilter in Handys gute Dienste leisten, da sie kleiner sind und weniger Energie brauchen als herkömmliche Frequenzfilter.



400 Meter lang und 3000 Tonnen schwer ist die Tunnelbohrmaschine «Sissi». Bei hartem, unproblematischem Gestein schafft sie über 20 Meter Vortrieb pro Tag. (Bild: Herrenknecht AG)

Durchbruch der Jahrhundert-Röhre

Im Oktober findet der Durchstich der Gotthard-Oströhre statt. Damit wird einer der wichtigsten Meilensteine des Jahrhundertbauwerks erreicht. Nicht nur Hunderte von Ingenieuren waren in den Bau involviert, sondern auch Wissenschaftler der ETH Zürich. Davon profitierten sowohl die Verantwortlichen der Alpentransversale als auch die Bauingenieure, Geologen und Geomatikingenieure der ETH selbst. Denn die während der vergangenen 20 Jahre am Gotthard gewonnenen Daten und Erkenntnisse sind ein wissenschaftlicher Schatz.

Samuel Schläfli

➔ Wahrscheinlich war es Simon Löw letzter Besuch auf der Baustelle Faido. Das nächste Mal, wenn der Geologieprofessor mit dem Zug in das Gotthardmassiv hineinfährt, sind vielleicht die Ferien im Tessin das Ziel. Gestern hingegen waren Wassereintritte in den Gotthardtunnel der Grund für seinen Besuch. Mit der Stollenbahn fuhr er vom Zugangstollen Faido eine Stunde lang tief in den Berg hinein, bis wenige hundert Meter an die Stelle heran, wo am 15. Oktober der Durchstich der Gotthard-Oströhre (siehe Grafik S. 13) stattfinden soll. Seit 2002 bohren sich die Mineure der Bauunternehmungen im Auftrag der AlpTransit Gotthard AG (ATG), eines Tochterunternehmens der SBB, durch die harten Gneise und Granite der Zentralalpen. Bis die gesamte Eisenbahntechnik in der Ost- und Weströhre durch den Gotthard eingebaut ist, wird es noch bis 2017 dauern. Erst dann werden die ersten Züge durch den 57 Kilometer langen Tunnel von Bodio im Tessin nach Erstfeld im Kanton Uri rollen; durch den längsten Eisenbahntunnel der Welt.

Zwei Stunden war Simon Löw diesmal im Stollen. Der Professor für Ingenieurgeologie am Geologischen Institut der ETH Zürich berät die ATG als Experte in Fragen der Grundwasserzutritte zu den Tunnelvortrieben. Meist geschieht dies vom Schreibtisch aus, doch gestern war der Professor zusammen mit einem

Doktoranden wegen der Grundwasserproblematik vor Ort. Aus zum Teil kaum sichtbaren Klüften fließen in der Oströhre in Faido derzeit bis zu 20 Liter Wasser pro Sekunde. Das weiss man so genau, weil das Wasser im Tunnel gemessen und anschliessend über ein Rohrsystem aus dem Tunnel geleitet wird. Simon Löw und seine früheren Mitarbeiter haben in den frühen 90er-Jahren Berechnungen angestellt bezüglich der zu erwartenden Grundwasserzuflüsse. «Wir konnten zwar abschätzen, wie viel Wasser in bestimmten Gebirgsabschnitten zu erwarten ist; doch Voraussagen darüber, wo dieses Wasser in welchen Mengen austreten wird, sind enorm schwierig», erklärt Simon Löw.

«Sissi» steckt fest

Neben den Wasserzutritten gibt es aktuell auch Probleme beim Vortrieb mit der Tunnelbohrmaschine, von den Mineuren liebevoll «Sissi» getauft. Seit Anfang März stand die Tunnelbohrmaschine in der Weströhre bei Faido still, nachdem ihr eine rund zehn Meter breite Zone mit weichem, sandigem Gestein mächtig zugesetzt hatte. Mit rund hundert Bohrungen für Zementinjektionen stabilisierten die Mineure in den vergangenen Monaten das aufgelockerte Gestein. Dafür mussten sie von der Oströhre her einen Verbindungsstollen in Richtung der feststeckenden Tunnelbohr-

maschine in der Weströhre graben. Sie waren erfolgreich; seit Mitte Juli ist «Sissi» wieder auf Kurs. Georgios Anagnostou kennt solche Probleme bestens. Der Professor für Untertagebau am Institut für Geotechnik ist Mitglied der AlpTransit-Expertengruppe für Fragen rund um den Vortrieb. Während der gesamten Arbeiten in Faido war er vor Ort zur Stelle, sobald Probleme auftauchten, so wie in den letzten Monaten in der Weströhre.

Das ist nicht das erste Mal, dass die Expertise der ETH-Bauingenieure gefragt ist: Georgios Anagnostous Vorgänger, Prof. Kalman Kovári, beriet die ATG am berühmt-berüchtigten Tavetscher Zwischenmassiv, einer 1,1 Kilometer langen geologischen Störzone unterhalb von Sedrun. Die Störung kam nicht überraschend. Geologen hatten bei den Machbarkeitsstudien zum Gotthard-Basistunnel bis zu 1,7 Kilometer lange Schrägbohrungen durchgeführt und darauf hingewiesen, dass dieser Abschnitt nicht harter Fels, sondern lockeres Gestein sei. Die als Kakirite bezeichneten Gesteine des Tavetscher Zwischenmassivs wurden vor 10 bis 15 Millionen Jahren zwischen dem Aare- und dem Gotthard-Massiv unter enormen Drücken zerbrochen und zerrieben. Der Fels ist in dieser Zone heute zum Teil so weich, dass er in der Hand zerbröseln. Kritiker des Tunnels erkannten im Zwischenmassiv einst einen der Hauptgründe, weshalb das Projekt misslingen würde.



Mit der Stollenbahn fahren die Mineure bis zu eine Stunde lang tief in den Berg hinein; bis nahe an die Stelle heran, wo am 15. Oktober der Durchstich der Gotthard-Oströhre stattfinden soll. (Bild: AlpTransit Gotthard AG)

Hauptdurchschlag im Gotthard-Basistunnel – ein Grund zum Feiern

Die AlpTransit Gotthard AG, die Bauherrin der NEAT-Achse Gotthard, organisiert gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Geodätische Messtechnik und Ingenieurgeodäsie der ETH Zürich einen eintägigen Anlass auf dem Campus Science City. Dieser bietet Vermessungs-Berufsleuten aus der Schweiz und den Nachbarländern Gelegenheit, Erfahrungen auszutauschen und soll generell die Bedeutung der Geomatik für die Gesellschaft unterstreichen. Das Programm umfasst Fachreferate und eine Fachausstellung. Freitag, 29. Oktober 2010, ETH Zürich, Campus Science City. Anmeldung und Informationen unter www.gbt-vermessung.ethz.ch

Einzigartiges Forschungsmaterial

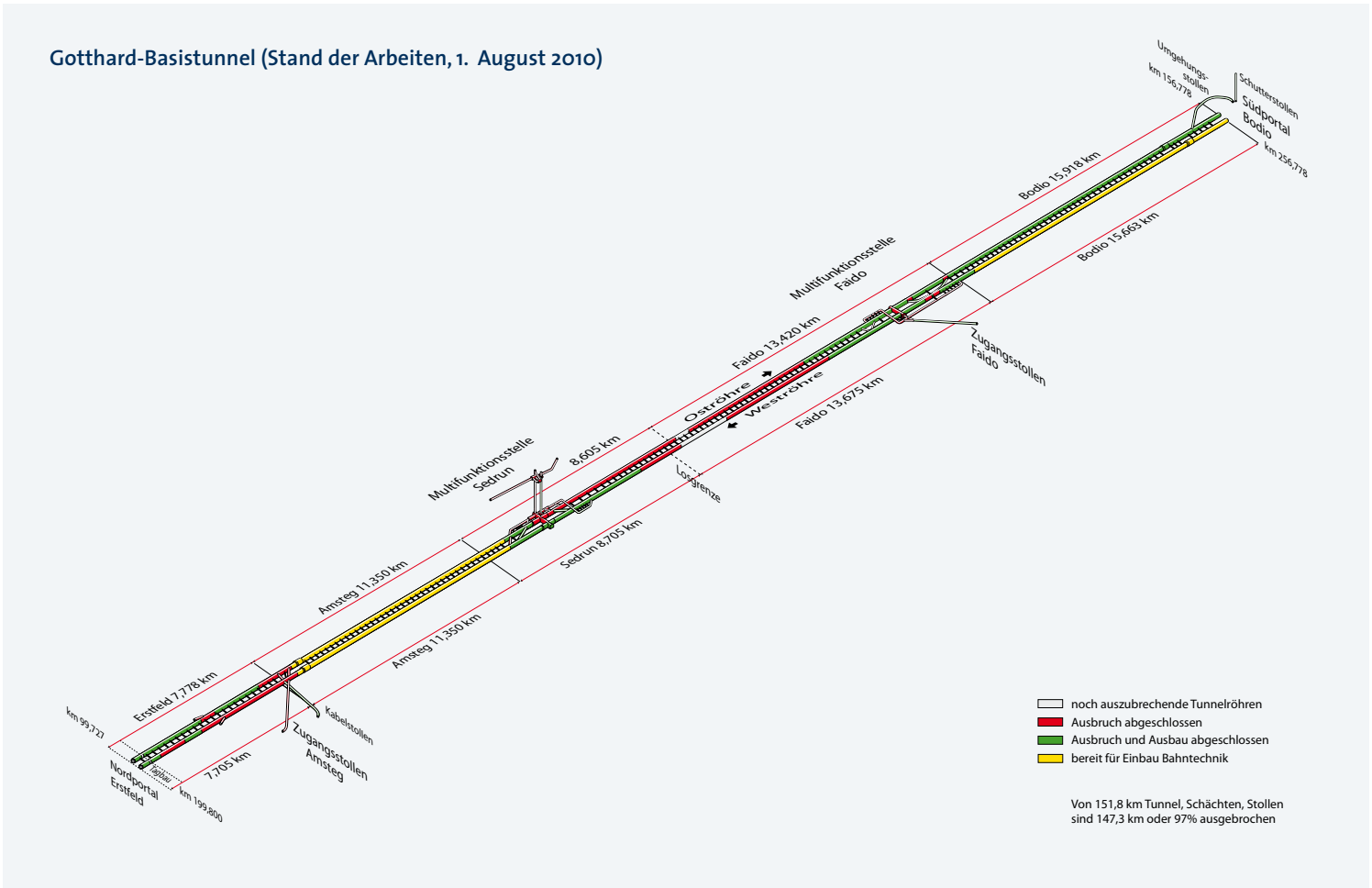
Später, während des Vortriebs im Tavetscher Zwischenmassiv Nord, haben Georgios Anagnostou und sein Team die ATG mit baubegleitenden Laboruntersuchungen unterstützt. 20 Zentimeter lange, zylinderförmige Proben wurden dabei in einer Druckkammer einem vertikalen und seitlichen Druck ausgesetzt, der die Probe langsam zusammenstauchte. Damit wurde der maximale Druck gemessen, den das Gestein aufnehmen kann. «Wir konnten Gesteine untersuchen, an die wir normalerweise nicht herankommen», erklärt Georgios Anagnostou. Die Zusammenarbeit mit der ATG ist für seine Gruppe bis heute eine starke Motivatorin: Die Doktoranden können einerseits Forschung für ein international einzigartiges Projekt betreiben und andererseits haben ihre Erkenntnisse gute Chancen, unmittelbar in der Praxis angewandt zu werden. Vier von Georgios Anagnostous Doktoranden beschäftigen sich mit Proben und Daten aus dem Gotthardtunnel sowie mit Fragen betreffend langer, tiefliegender Tunnel.

Die aus den Laborversuchen gewonnenen Erkenntnisse waren für die AlpTransit-Ingenieure im Tunnel essenziell. Im Fall des Tavetscher Zwischenmassivs konnten die Wissenschaftler

mit Hilfe ihrer Modellrechnungen abschätzen, wie sich das Gebirge nach dem Tunnelausbruch verhalten wird. Man ging davon aus, dass sich der Kaikirit im Extremfall um 70 Zentimeter in den Tunnel hinein ausdehnt. Damit am Ende genügend Platz für die Züge bleibt, wurde die Röhre in diesem Abschnitt mit einem grösseren Durchmesser vorgetrieben. Zur Sicherung des Tunnels installierten die Mineure bewegliche Stahlträger, die vom Fels bei der Ausdehnung langsam ineinander geschoben wurden. Sobald sich der Fels stabilisiert hatte, versiegelten die Arbeiter die Ausbruchsicherung mit einer zusätzlichen Spritzbetonschale. Der zeitliche Aufwand dafür war enorm: Für die Durchquerung der 1,1 km langen Zone wurden dreieinhalb Jahre gebraucht. Der Vortrieb betrug im Mittel 1,1 Meter pro Tag.

Eine andere geologische Störzone, über die sich die Wissenschaftler einst den Kopf zerbrachen, war die Piora-Mulde. Hier bestand die Gefahr, dass die Tunnelbohrmaschine auf zuckerkörnigen Dolomit, nicht fester als Puderzucker, stösst – und dies unter einem extrem hohen Wasserdruck. Dies hätte das Gesamtprojekt in Frage gestellt. Kalman Kovári und Georgios Anagnostou waren damals massgeblich in die Untersuchungen zur Machbarkeit des Tunnels

Gotthard-Basistunnel (Stand der Arbeiten, 1. August 2010)



In der Oströhre fehlen nur noch wenige hundert Meter bis zum Tunneldurchschlag. In der Weströhre ist der Weg noch etwas weiter; schwieriges Gestein brachte die Tunnelbohrmaschine zwischenzeitlich zum Stillstand. (Bild: AlpTransit Gotthard AG)

in dieser kritischen geologischen Zone involviert (siehe Kasten). Die damals getroffenen Annahmen bestätigten sich, als die Mineure 2008 auf die Piora-Mulde stiessen und diese in 17 Tagen ohne Zwischenfälle passierten.

Mit der Genauigkeit eines Schützen

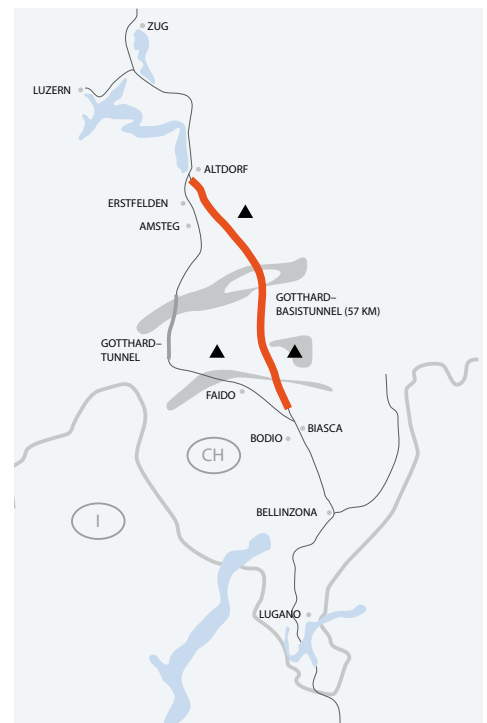
Damit zwei Tunnelbohrmaschinen inmitten des Bergs am Ende aufeinandertreffen, ist einiges an Vermessung nötig. Hilmar Ingensand, Professor am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, stand der ATG dabei beratend zur Seite. Unter anderem mit einem Inertialmesssystem, das Ingensand zusammen mit Kollegen der TU München entwickelt hatte. Über verifizierte Fixpunkte an der Oberfläche konnten die Forscher die Richtung für die Tunnelbohrmaschine mit dem Inertialmesssystem über den 800 Meter tiefen Schacht in Sedrun in den Tunnel übertragen und damit die für den Vortrieb verwendeten Kreismessungen kontrollieren und bestätigen. Je zwei Tunnelbohrmaschinen waren im Ost- und Westtunnel im Norden bei Amsteg und Erstfeld und im Süden bei Bodio und Faido im Einsatz. Die 3000 Tonnen schweren Unge- tume wurden dabei ständig von den Vermes- sungsfachleuten mittels Laserstrahls entlang

der Idealroute ausgerichtet und navigiert.

Die Anforderungen an die Vermesser sind hoch: Ihre Genauigkeit muss derjenigen eines Schützen entsprechen, der auf eine Distanz von 2300 Metern einen Einfränkler treffen will. Seit zehn Jahren analysiert deshalb der mittlerweile emeritierte Geodäsieprofessor Ales- sandro Carosio die Modelle und Auswertungen der Vermessungsfachleute des Bauherrn. In Faido hat das bestens geklappt: Beim Durch- stich des Teilabschnitts Bodio in die Multifunk- tionsstelle Faido, einem grosszügigen Raum für die Lagerung und den Verlad von Materialen, im September 2006 betrug die seitliche Abweichung neun Zentimeter und in der Höhe zwei Zentimeter. Beim Gotthard-Durchstich 1880 waren es noch 33 Zentimeter und fünf Zentimeter, was für damalige Verhältnisse ebenfalls eine international anerkannte Meis- terleistung war.

Die Stauseen im Auge behalten

Während im Tunnel Präzisionsmessungen den exakten Tunnelausbruch garantieren und Messsysteme das tektonische Verhalten des Gebirges überwachen, ist ein anderes ausge- klügeltes geodätisches System für die Mes- sung von Verschiebungen an der Oberfläche



Der Gotthard-Basistunnel schlängelt sich zwischen hohen Bergen (schwarze Dreiecke) und ungünstigem Gebirge (graue Flächen) hindurch. Dank des Tunnels dauert die Zugfahrt von Zürich nach Milano künftig nur zwei Stunden 40 Minuten. (Bild: AlpTransit Gotthard AG)



Der längste Eisenbahntunnel der Welt: Ab 2017 sollen nach Einbau der Eisenbahntechnik die ersten Züge durch die beiden 57 Kilometer langen Tunnelröhren von Bodio im Tessin nach Erstfeld in Uri rollen. (Bild: AlpTransit Gotthard AG)

verantwortlich. Aus früheren Projekten weiss man, dass sich die Geländeoberfläche bei tiefen Tunnelvortrieben in klüftigem Gebirge setzen kann. Hauptursachen dafür sind Bergwasseraustritte in die Tunnel und der dadurch um den Tunnelausbruch reduzierte Bergwasserdruck des Gesteins. Bei der Bohrung eines Sondierstollens für den Rawiltunnel 1978 in Zeuzier kämpften die Ingenieure mit Wasseraustritten von 700 bis 1000 Litern pro Sekunde. Das Gelände senkte sich in der Folge um zwölf Zentimeter, während sich das Tal gleichzeitig horizontal um sechs Zentimeter verkürzte. Wie problematisch solche Bewegungen sein können, merkten die Experten, als in der Staumauer des einen Kilometer entfernten Stausees plötzlich Risse auftraten.

In der näheren Umgebung der Alpentransversale gibt es drei Stauseen: Curnera, Nalps und Santa Maria. Darum war bereits bei Planungsbeginn 1992 klar, dass Bewegungen des Geländes überwacht werden müssen. Heute überzieht ein ganzes Netz mit Dutzenden von verschiedenen Messpunkten das Gotthardmassiv im Einflussbereich des Basistunnels und der Staumauern. Automatische Tachymeter und GPS-Sensoren überwachen das Gebiet und registrieren vertikale und horizontale Ver-

schiebungen zum Teil täglich. Simon analysiert diese Messdaten regelmässig. «Unsere ursprüngliche Annahme – je mehr Grundwasseraustritt im Tunnel, desto höher die Deformation an der Oberfläche – greift eindeutig zu kurz», sagt Simon Löw. «Deshalb müssen wir die Modelle verbessern.» Bisher gingen die Wissenschaftler auch davon aus, dass sich die Setzungen relativ kurzfristig stabilisieren. Die neuen Daten zeigen nun aber, dass diese Prozesse viel länger dauern und lange nach dem Abschluss der Vortriebsarbeiten weitergehen könnten.

Absolutes Neuland

Die Zusammenarbeit mit der AlpTransit Gotthard AG bezeichnen die Professoren Anagnostou, Ingensand und Löw allesamt als einzigartigen Glücksfall. Im Gegenzug zu ihrer Expertentätigkeit erhielten sie nämlich das Recht, sämtliche Daten auch für eigene Forschungszwecke zu nutzen. Simon Löw sagt deshalb über seinen Forschungsbereich: «Die AlpTransit-Daten sind wissenschaftliche Highlights. Wir betreten damit Neuland, das uns fundamental neue hydrogeologische Erkenntnisse verspricht.» Die dreidimensionale und zeitabhängige Erfassung aller Verschiebungen einer grossräumigen Alpenregion über die ver-



Bohrarbeiten an der «Tunnelbrust» in Sedrun: Sobald Probleme auftreten, stehen die ETH-Experten den Ingenieuren vor Ort beratend zur Seite. (Bild: AlpTransit Gotthard AG)

gangenen zehn Jahre, wie er sie verfolgt, sei bislang einzigartig. Simon Löws Ziel: verbesserte Modelle zu finden, mit denen die Wasserzutritte und Gebirgsverformungen bei tiefen Tunnelbauten im Voraus zuverlässig dreidimensional simuliert werden können. Das Thema ist topaktuell: Die Frage der Gebirgsverformungen steht auch bei anderen neuen grossen Tunnelprojekten wie dem Brenner-Basistunnel oder Wasserkraftprojekten wie Emosson im Vordergrund.

Kommt bei einem solch fruchtbaren Zusammenspiel von Grundlagenforschung und Expertentätigkeit vor dem baldigen Abschluss der Vortriebe am Gotthard nicht ein wenig Wehmut auf? «Nein», sagt Simon Löw entschieden, denn für ihn ist die Arbeit noch nicht abgeschlossen. Weitere zwei Jahre wird er als Experte für die ATG die Gebirgsverformungen beobachten. Und dann liegt da bereits ein weiteres potenzielles Jahrhundertprojekt auf seinem Tisch: Die Initiatoren des Projekts «Deep Geothermal Energy» wollen einen fünf Kilometer tiefen vertikalen Schacht in den Boden treiben, in geologische Gefilde, wo Temperaturen von 160 Grad Celsius herrschen. Diese Wärme soll über einen Generator in Strom umgewandelt werden. Die tiefsten bisher reali-

sierten Schächte sind dreieinhalb Kilometer tief und wurden für Goldminen in Südafrika angelegt. «Fünf Kilometer sind hingegen absolut visionär», sagt Simon Löw. Wo dieses geothermische Kraftwerk einst stehen soll, steht heute noch in den Sternen. Ziemlich sicher ist jedoch, dass Ingenieure und Geologen der ETH als Experten involviert sein werden.

Ein anderes visionäres Projekt, das zurzeit von den Erkenntnissen aus der Alpentransversale profitiert, ist der Gibraltar-Untersassertunnel, der einst Spanien mit Marokko verbinden soll. Die in der Gruppe Anagnostou entwickelten felsmechanischen Versuchstechniken werden bei den momentan laufenden Machbarkeitsabklärungen des Projekts eingesetzt. Die besondere Herausforderung in Gibraltar: In der Mitte der Meeresenge, 500 Meter unterhalb des Meeresspiegels, müssten Gesteine mit extrem geringer Festigkeit durchbohrt werden. Ob Projekte wie das Tiefenkraftwerk oder der Gibraltar-Tunnel am Ende Vision bleiben oder nicht, hängt nicht zuletzt auch von der Expertise der ETH-Professoren ab.

→ www.tunnel.ethz.ch
 → www.alptransit.ch

ETH-Know-how am Gotthard: eine langjährige Erfolgsgeschichte

Seit mehr als 20 Jahren wird am Gotthard-Projekt gearbeitet. Bereits in den ersten Planungen und Machbarkeitsstudien zum Basistunnel wurde eine Vielzahl von neuen technischen Grundlagen gelegt. Insbesondere die Erkenntnisse von Kalman Kovári, emeritierter Professor für Untertagbau, zusammen mit der Arbeitsgruppe Bautechnik führten zur Entwicklung einer Reihe von neuen Messinstrumenten, Berechnungsverfahren und Versuchstechniken, die entscheidend zum Erfolg des Gotthard-Projekts beitrugen.

Die Schweizer Energielandschaft der Zukunft

Heute «produziert» jeder Schweizer sechs Tonnen CO₂ im Jahr, ein Treibhausgas, das zur Klimaerwärmung beiträgt. Damit es nicht zu einem gefährlichen Temperaturanstieg auf der Erde kommt, sollte spätestens Ende dieses Jahrhunderts jeder Mensch nur noch eine Tonne CO₂ pro Jahr produzieren. ETH-Forscher haben eine Strategie entwickelt, wie dieses Ziel erreicht werden kann. ETH-Globe präsentiert die Vision für die Energielandschaft der Schweiz im Jahr 2050.

Energiestrategie:

Die Schweiz wird zu einem hohen Mass elektrifiziert sein. Ein intelligentes Netz (Smart Grid) wird viele verschiedene CO₂-freie Primärenergiequellen integrieren und den Strom bedarfsgerecht in energiesparende, effiziente und optimierte Prozesse verteilen.

Wohnen:

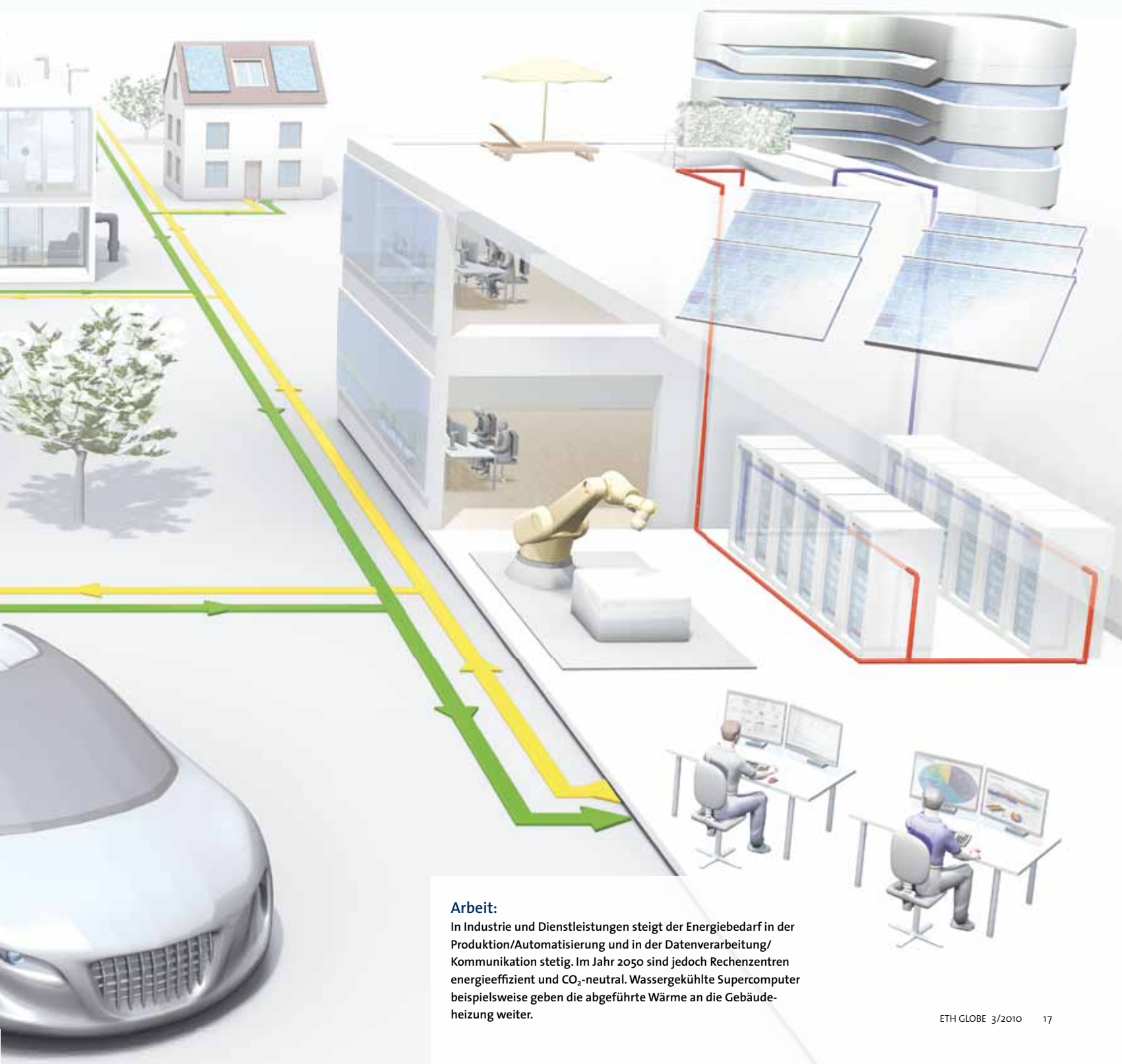
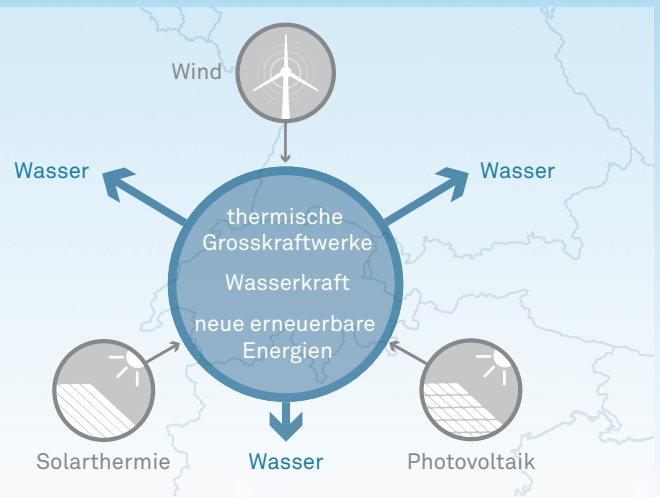
Die Häuser der Zukunft werden wo immer sinnvoll Minergiestandard haben, aber auch dank Kollektoren, Erdwärmesystemen und/oder biogenen Minikraftwerken sowie intelligenter Haustechnik praktisch einen Null-CO₂-Ausstoss aufweisen.

Verkehr:

Bereits heute verfügt die Schweiz über ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrsnetz, das weitgehend elektrifiziert ist. Im Jahr 2050 wird auch der Individualverkehr einen hohen Elektrifizierungsanteil ausweisen. Biogene Kraftstoffe werden den restlichen Anteil beisteuern. Fossile Kraftstoffe werden prioritär im Mittel- und Langstreckenverkehr (Schiffe, Flugzeuge) eingesetzt.

Die Schweiz in Europa:

Auch im Jahr 2050 wird die Schweiz einen Teil ihres Energiebedarfs aus dem Ausland decken. Im Gegensatz zur heutigen Abhängigkeit von ausländischen fossilen Energieträgern wird es überwiegend Strom aus erneuerbaren Energiequellen sein, zum Beispiel Strom aus Windparks im Norden Europas und aus Solarfarmen im Süden. Im Gegenzug bietet die Schweiz umweltfreundlichen Strom aus Wasserkraft. Dazu decken CO₂-arme Grosskraftwerke die Stromgrundlast.



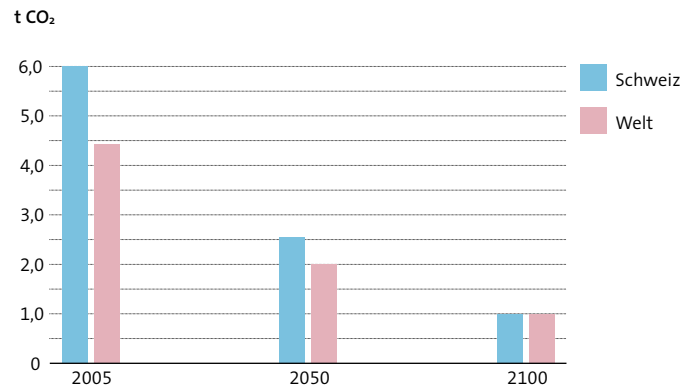
Arbeit:

In Industrie und Dienstleistungen steigt der Energiebedarf in der Produktion/Automatisierung und in der Datenverarbeitung/Kommunikation stetig. Im Jahr 2050 sind jedoch Rechenzentren energieeffizient und CO₂-neutral. Wassergekühlte Supercomputer beispielsweise geben die abgeführte Wärme an die Gebäudeheizung weiter.

Meilensteine auf dem Weg zur 1-T-Co₂-Gesellschaft in der Schweiz und weltweit.

Grafiken rechts: In den Industrieländern kann durch zunehmende Effizienz eine kontinuierliche Reduktion der Endenergie erreicht werden. Die Primärenergie stabilisiert sich auf mittlerem Niveau. Der Stromanteil am Endenergiemix steigt. Trotz steigender Weltbevölkerung kann auch der Endenergieverbrauch weltweit stabilisiert werden.

Jährliche CO₂-Emissionen pro Person



Interview: Martina Märki

Das Energy Science Center (ESC) der ETH fördert die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Energiebereich. Im Jahr 2008 legte das ESC seine Energiestrategie vor, die laufend weiter konkretisiert wird. Konstantinos Boulouchos ist Professor am Institut für Energietechnik und Vorsteher des Leitungsausschusses des ESC. Er erklärt, welches die zentralen Standbeine der Energiestrategie sind und wo deren aktuelle Schwerpunkte liegen.

Herr Boulouchos, im Mittelpunkt der Energiestrategie, die das ESC 2008 vorlegte, stand das Konzept der 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft. Hat sich in der Zwischenzeit etwas daran geändert?

Wir sagen nach wie vor: Die begrenzten Rohstoffvorkommen der fossilen Energieträger sind eine Herausforderung, aber das grösste Problem ist der Klimawandel. Denn Kohle, Erdöl und Erdgas sind zwar begrenzt vorhanden, aber ihre Vorkommen reichen allemal noch aus, um das Klima um mehrere Grad Celsius weiter zu erwärmen. Ausgangspunkt unserer Überlegungen ist also die Frage: Wie schaffen wir Energiesysteme, die das Klimasystem nicht weiter belasten? Die Schlussfolgerung lautet: Energiesysteme der Zukunft dürfen nur minimal CO₂ in die Atmosphäre entlassen. Wenn jeder Mensch auf der Welt pro Jahr nicht mehr als eine Tonne CO₂ «produziert», wäre das Problem der Klimaerwärmung gelöst. Dies ist unser Ausgangspunkt. Allerdings würde ich heute, was den Weg zu diesem Ziel betrifft, noch etwas klarer argumentieren.

Welche Aspekte würden Sie heute besonders betonen?

Wir haben damals drei Wege definiert, die gemeinsam zum Ziel führen, oft als Drei-E-Strategie zitiert: erneuerbare Energien, Effizienz und Elektrifizierung. In dieser Form hat das auch Missverständnisse verursacht. Es gab zum Beispiel Stimmen, die sagten: «Aha, die wurden wohl von der Elektrizitätswirtschaft gekauft!» Das ist natürlich nicht so. In der Drei-E-Strategie sind nicht alle Wege gleichwertig. Zentral sind die erneuerbaren Energien und die Energieeffizienz. Die Elektrifizierung dagegen ist nur ein wichtiges Mittel zum Zweck.

Wie ist die Resonanz auf diese Strategie?

Dass wir in Zukunft mehr Energieeffizienz und erneuerbare Energien brauchen, das sagt eigentlich jeder. Von daher sind diese beiden Ziele auch am wenigsten umstritten. Die Frage ist eher, wie man technisch und kostenmässig beide Komponenten optimal bündelt, so dass sie zu einer massiven Entkarbonisierung des Energiesystems führen. Diskussionen gab es anfangs vor allem mit Vertretern des Konzepts der 2000-Watt-Gesellschaft, das in den 90er Jahren innerhalb des ETH-Bereichs entwickelt wurde. Ihr Fokus liegt vor allem auf der Effizienz. Das ist nicht falsch. Es gibt grosse Effizienzpotenziale, beispielsweise im Gebäudesektor. In der interessierten Öffentlichkeit und in der lokalen und regionalen Politik ist das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft inzwischen gut angekommen. Wir sagen nun: Jawohl, wir müssen die Effizienz massiv steigern. Wir sind aber sicher, dass wir mit Effizienzsteigerung und Energiesparmassnahmen allein das CO₂-Problem nicht lösen können. Deshalb liegt der zweite Schwerpunkt unserer Strategie auf der effizienten Entkarbonisierung des gesamten Energiesystems. Dieses Ziel setzen wir in den Vordergrund. Damit können wir gleichzeitig das Problem der endlichen fossilen Ressourcen entschärfen.

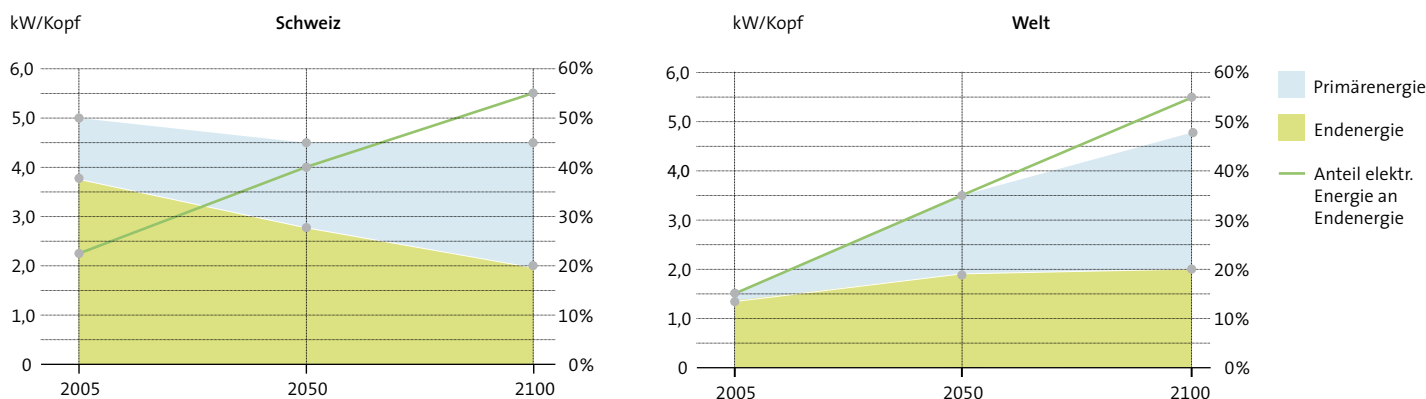
Verfügt denn die Schweiz überhaupt über das Potenzial, sich mit genügend erneuerbarer Energie zu versorgen?

Sie dürfen sich natürlich nicht vorstellen, dass die Schweiz sich ganz autark mit Energie versorgt, das tut sie heute nicht, und das wird sie in Zukunft auch nicht können. Obwohl sie ja bereits heute mit der Wasserkraft über eine gute erneuerbare Energiequelle verfügt. Die Schweiz ist eingebettet in das Energiesystem Europas. Neben der lokalen – aber nicht ausreichenden – Nutzung von Sonne und Biomasse (inklusive Wärmekraftkopplung) im Land selber sind Investitionen von Schweizer Firmen in Wind und Solarthermie an geeigneten europäischen Standorten eine wichtige vorwärtsgerichtete Strategie. Trotzdem werden wir auch langfristig Grundlastkraftwerke brauchen. Das Energiesystem der Zukunft wird schliesslich ein intelligentes System sein, das ganz neue Netztechnologien, effiziente Speicherung und Gesamtsteuerung braucht, um all die verschiedenen Energieformen so sinnvoll wie möglich aufzunehmen, zu kombinieren und zu verteilen. Und hier ist vor allem Know-how gefragt. Das wiederum könnte eine der wichtigsten Ressourcen der Schweiz sein.

Derzeit wird die Kernkraft als CO₂-neutrale Energiequelle vermehrt diskutiert. Welche Rolle spielt sie in Ihren Überlegungen?

Das ist eine wichtige Frage, welche die Gesellschaft beschäftigt. Auch an der ETH Zürich gibt es dazu ein breites Meinungsspektrum. In unserer Strategie ist die Kernenergie eine Komponente des Strommix; sie steht aber langfristig nicht im Mittelpunkt. Es ist einerseits schwer einzusehen, wie unter der Prämisse eines klimafreundlichen Energiesystems kurzfristig auf die Kernenergie verzichtet werden kann (dies gilt für die meisten Industrieländer). Andererseits würde ein massiver Ausbau der kapitalintensiven, über Jahrzehnte zu amortisierenden nuklearen Stromerzeugungskapazität mittel- bis langfristig den Weg für nachhaltigere, eben

Entwicklung des Energieumsatzes (linke Skala) und Anteil der Elektrizität an der Endenergie (rechte Skala)



erneuerbare Energien verbauen. Wir müssen den optimalen Mix in den nächsten Jahrzehnten durch Feinjustierung je nach Fortschritten bei den erneuerbaren Energien, der Nukleartechnologie und länderspezifischen Gegebenheiten vornehmen.

In welchem Zeitraum müsste die Energiestrategie umgesetzt werden, damit sie wirksam ist?

Der Zeithorizont 100 Jahre ist wegen des Klimas eine klare Obergrenze. Wir müssen in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts das Problem gelöst haben. Andererseits aber müssen wir realistisch sein. Veränderungen brauchen Zeit. Ein Schiff lebt 30 Jahre, ein Kraftwerk 50 Jahre, ein Gebäude 50 bis 100 Jahre. Wir brauchen also eine gewisse Zeit, bis unsere Massnahmen überhaupt wirksam werden können. Ich sehe deshalb einen mittleren Zeithorizont als entscheidend, etwa das Jahr 2050. Spätestens dann müssen die neuen Technologien auf dem Markt etabliert sein.

Und was trägt das ESC aktuell dazu bei?

Jetzt sind wir daran, die Energiestrategie auf die einzelnen Sektoren der Gesellschaft herunterzubrechen. Wir entwickeln konkrete Ziele für die einzelnen Bereiche. Die vier wichtigsten sind Mobilität, Strom, Gebäude und Prozesse/Dienstleistungen. Wir werden in den nächsten Monaten eine industrieorientierte Mobilitätsstrategie entwerfen und eine Strategie für Datenzentren im Bereich Dienstleistungen bereit haben. Dazu kommt ein Querschnittsbereich, in dem es um Ökonomie und Politik/Gesetzgebung geht, aber auch um die Lebenszyklusanalyse eines Systems. Wir suchen nun in diesen Sektoren Partner in Forschung, Industrie und Politik, um die Strategien umzusetzen. Mit Unterstützung der Industrie konnten wir bereits drei neue Energieprofessoren berufen. Es wäre schön, wenn weitere dazukämen.

Wichtig ist auch, dass wir auf der Ebene der Aus- und Weiterbildung das Richtige tun. Der

Master of Energy Science, ein interdisziplinärer Querschnittlehrgang in Sachen Energieforschung, ist im Jahr 2007 aus der Taufe gehoben worden und auch international sehr erfolgreich.

Wie beurteilen Sie die Chancen, dass die Energiestrategie den Weg in die Praxis findet?

Ich erlebe gerade eine gewisse Ermattung im politischen Umfeld. Mit Kopenhagen hatten wir im letzten Jahr noch viel Rückenwind durch die Klimadiskussion, aber leider ist Kopenhagen ja relativ ergebnislos verlaufen. Zudem hat auch die Wirtschaftskrise die öffentliche Aufmerksamkeit eine Zeitlang in Anspruch genommen. Dennoch ist gerade die Wirtschaft nach wie vor sehr interessiert. Kürzlich war ich zum Beispiel mit Leuten aus der Schifffahrt im Gespräch, die einen Index entwickeln möchten, der die CO₂-Emission pro Container und nautischer Meile bewertet. Offenbar bekommt die Schifffahrt zu spüren, dass die Kunden wissen möchten, wie die CO₂-Bilanz aussieht, wenn sie Wein aus Australien oder Orangensaft aus Brasilien kaufen. Diese Entwicklung ist nicht mehr aufzuhalten, davon bin ich überzeugt.

Welche Rolle spielt dabei die Forschung, welche die Politik und die Wirtschaft?

Es ist an uns, der ETH Zürich, nicht kurzfristigen Modeströmungen zu folgen, sondern beharrlich an der Strategie weiterzuarbeiten. Und wir müssen weiter in die Forschung investieren. Die Politik soll mit entsprechenden Richtlinien dafür sorgen, dass die Früchte der Forschung, die es bereits gibt, gepflückt werden. Und sie soll gezielt die notwendige Forschung fördern. Sie sollte dabei in meinen Augen prioritär auf drei oder vier Kernthemen zielen, zum Beispiel Elektrizitätsspeicherung, Photovoltaik, schadstoffarme Erzeugung und Nutzung biogener Energieträger, Recycling von CO₂. Das würde auch eine gute Ausgangslage für die Schweizer Exportindustrie schaffen.

Energy Science Center

Das Energy Science Center (ESC) wurde im Jahr 2005 gegründet, um disziplinenübergreifende Energieforschung und Lehre zu fördern und die Forschungszusammenarbeit zwischen Hochschulforschung, Industriepartnern und Gesellschaft zu stärken. Als Beitrag zur Realisierung eines nachhaltigen Energiesystems hat das ESC eine Energiestrategie entwickelt, die Wege zu einer nachhaltigen Energiezukunft der Schweiz bis ins Jahr 2050 und darüber hinaus weist.

→ www.esc.ethz.ch



Konstantinos Boulouchos, Professor am Institut für Energietechnik und Vorsteher des Leitungsausschusses des ESC, ist überzeugt, dass es sich lohnt, in Energieforschung zu investieren.

Gebaute Visionen

Fast die Hälfte des schweizerischen Energieverbrauchs wird für den Bau und Betrieb von Gebäuden verwendet. Das soll anders werden. Während die Politik den Bau von Minergiehäusern fördert, geht die Forschung bereits einen Schritt weiter. Wie ETH-Ingenieure und Architekten emissionsfreies Bauen realisieren wollen.

Martina Märki



«Die Neue Monte-Rosa-Hütte ist ein Paradebeispiel für nachhaltiges Bauen.»

Kaspar E. A. Wenger, Vorsitzender der Geschäftsleitung von Holcim (Schweiz) AG



1 Die Neue Monte-Rosa-Hütte ist zu 90 Prozent energieautark. (Bild: ETH Zürich – Studio Monte Rosa/Tonatiuh Ambrosetti)

2 In der mobilen Raumzelle Self sollen zwei Personen zwei Wochen lang ohne Energie- und Wasseranschluss leben können. (Bild: Empa/ZHdK)

2

➔ Im Bausektor bieten sich enorme Chancen, den Energieverbrauch zu senken. Mit einer aktuellen Kampagne wendet sich das Programm «EnergieSchweiz» derzeit an Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer, um diese für Energieeffizienz und erneuerbare Energien zu motivieren. Das neue Gebäudeprogramm fördert mit bis zu 300 Millionen Franken im Jahr die Wärmedämmung. Mit den übrigen Geldern wird bei der Modernisierung der Haustechnik der Umstieg von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien belohnt.

Vom Energiesparen zur Emissionsfreiheit

Alles gut und schön, meinen ETH-Ingenieure und Architekten, aber nicht genug. Wie wäre es, wenn ein Haus nicht nur weniger Energie braucht, sondern die Energie gleich selbst produziert? Vielleicht könnten solche Gebäude sogar überschüssige Energie weitergeben? Das Haus als Kraftwerk sozusagen. Liesse sich Gebäudeenergie nicht grundsätzlich intelligenter nutzen? Und müsste man nicht die Materialien, die Produktion und die Entsorgung der Bauten gleich in die Betrachtung mit einbeziehen? «Die einfache Theorie von Minergie reicht in unseren Augen für die Zukunft nicht mehr. Gebäude brauchen nicht nur einen dicken Mantel, damit sie isoliert sind», fasst Sacha Menz, Professor am ETH-Institut für Technologie der Architektur, die Haltung seiner Forscherkollegen zusammen. Den ETH-Architekten schwebt eine grundsätzliche Neuorientierung im Bau vor. Das Haus der Zukunft, schreiben sie in einem Positionspapier, habe die Vermeidung von Emissionen, insbesondere CO₂, als übergeordnetes Ziel. «Zero Emission

Architecture» lautet die Devise. Der Weg vom Minergiehaus zum emissionsfreien Gebäude ist anspruchsvoll. Aber manchmal sind es gerade die grossen Herausforderungen, die so richtig beflügeln.

Autarkie unter Extrembedingungen

Das Haus, das sich selbst versorgt, der Traum von der völligen Autarkie, ist nicht neu. Aber nun wird er von der Vision zur Realität. Eine Variante war zu Jahresbeginn in Form eines Containers an Baumessen zu bewundern. Self, die autarke Raumzelle, ist ein Projekt der Empa (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) und des CCEM (Competence Center Energy and Mobility) aus dem ETH-Bereich. Der Name ist Programm. Self gewinnt Energie und Wasser direkt aus der Umwelt und speichert diese im Innern. Die Raumzelle versorgt so ihre Bewohner während zweier Wochen mit Energie und Wasser, sei es mobil irgendwo im Grossstadtdschungel oder fernab jeder Zivilisation.

Was hier noch provisorisch anmutet, hat die ETH Zürich mit dem Schweizer Alpen-Club (SAC) und mit Unterstützung zahlreicher Sponsoren auf Fels gebaut, genauer gesagt auf 2883 Meter Höhe in den Alpen bei Zermatt. Die Neue Monte-Rosa-Hütte SAC hat nichts mehr mit alpiner Hüttenromantik zu tun. Es ist ein Hightech-Bau, der seinen Energiebedarf zu 90 Prozent selbst deckt. Die Stromversorgung basiert auf modernster Photovoltaik, thermische Kollektoren versorgen die Hütte mit Warmwasser. Bei Schlechtwetterperioden liefert ein mit Biodiesel betriebenes Blockheizkraftwerk Strom und Wärme. Schmelzwasser der Alpen deckt den Wasserbedarf, Abwasser wird in einer

hauseigenen Kläranlage gereinigt und dient als Grauwasser zur Toilettenspülung. Ein ausgeklügeltes Energiemanagementsystem sorgt dafür, dass die verschiedenen Komponenten optimal zusammenarbeiten und an die aktuellen Betriebsbedingungen angepasst sind.

Trotz – oder vielleicht gerade wegen – der extremen Verhältnisse, in denen das Bauwerk betrieben wird, ist es ein Lehrstück mit enormer Ausstrahlung. Kaspar E. A. Wenger, Vorsitzender der Geschäftsleitung von Holcim (Schweiz) AG, grösster Sponsor des Projekts, erklärt: «Die Neue Monte-Rosa-Hütte ist ein Paradebeispiel für nachhaltiges Bauen. Mit ihrer innovativen Technologie symbolisiert sie den Fortschritt des Bauwesens. Deshalb unterstützt Holcim das ETH-Projekt. Die Erfahrungen und Erkenntnisse werden wir für die Weiterentwicklung von Baustoffen und Konstruktionen nutzen können.» Von der Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf urbane Verhältnisse ist auch Architekturprofessor Andrea Deplazes, der das ETH-Studio Monte Rosa am Departement Architektur gründete, überzeugt. Er erarbeitete mit Studierenden die architektonische Konzeption der Neuen Monte-Rosa-Hütte. Ein interdisziplinäres Forschungsprojekt sorgte sodann für die Integration neuester Technologien aus Bau- und Ingenieurbereichen. Und die Optimierung der Regelungssoftware und -technik des laufenden Betriebs wird ETH-Forscher noch einige Zeit beschäftigen. Lino Guzzella, Professor am Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik und sein Labor haben sie entwickelt und wollen sie nun laufend verfeinern.



Schematische Darstellung des Erdwärmesystems Science City. (Bild: Amstein + Walthert AG)

Science City als Versuchslabor

Visionen, die von idealen Höhen in die Niederungen des Alltags übertragen werden, wirken auf den ersten Blick oft etwas unscheinbar. Von einem weiteren Projekt der ETH in Sachen emissionsfreies Bauen sieht man derzeit nur Löcher im Boden und Leitungen. Doch dahinter verbirgt sich ein Pionierprojekt, das den ganzen Hochschulcampus Science City auf dem Höggerberg bis zum Jahr 2020 nahezu CO₂-frei machen soll. Zukünftig soll die Abwärme der Gebäude auf dem Campus Science City im Sommer nicht über Ventilatoren und Kühlgeräte ungenutzt an die Luft abgegeben werden, sondern über 800 Erdsonnen im Boden gespeichert werden. Die Abwärme wird über einen Wasserkreislauf im Boden bei 8 bis 18 Grad Celsius eingelagert. Im Winter wird die Wärme über denselben Kreislauf wieder nach oben gepumpt und zum Heizen genutzt, nachdem sie über mehrere mit Strom betriebene Wärmepumpen auf erforderliche 30 bis 35 Grad gebracht wird. Insgesamt soll nur ein Zwölftel der Gesamtenergie zum Heizen und Kühlen über Strom erzeugt werden. Der Rest soll aus dem bewirtschafteten Erdreich kommen. Wenn das System funktioniert, könnte es auch die zukünftige Bauplanung und Gebäudebewirtschaftung revolutionieren. Bei genügend Erdsonnen würde eine hocheffiziente Fassadendämmung überflüssig. Das kann sich auch finanziell lohnen, wie Hansjörg Leibundgut, Professor für Gebäudetechnik an der ETH, errechnet hat.

Alle Schritte in die richtige Richtung, bestätigt Sacha Menz. Denn weniger Dämmung bedeutet weniger Material, das produziert, auf die Baustelle gebracht und am Ende der Lebens-

phase eines Gebäudes wieder entsorgt werden muss. «Emissionsfreies Bauen hat sehr viel mit Material- und Stoffflüssen zu tun», erklärt er. «Und mit der spezifischen Situation, in der ein Gebäude steht.» Will heissen: Eine Monte-Rosa-Hütte, die isoliert im Gebirge steht, ist sinnvollerweise ein autarkes Gebäude, ein Institutsgebäude auf dem Campus dagegen muss eher optimal ans Energiesystem von Science City anschliessen. Und es muss an seine Funktionen angepasst sein. Genau so ein Gebäude möchte Menz mit seinen Kollegen vom Institut für Technologie und Architektur (ITA) planen, in eigener Sache für das Institut und als Demonstrationsobjekt, wie nachhaltiges Planen und Bauen für universitäre Gebäude aussehen kann. Das Credo: «Wir hinterfragen alle üblichen Baustandards.» Konkret kann das bedeuten: ein grosszügig geplantes Raumangebot, weil das langfristig nachhaltiger ist als nachträgliche Erweiterungsbauten. Dafür wird das Gebäude nicht neues Bauland verbrauchen, sondern auf einen bestehenden Bau, eine Parkgarage, gesetzt. Viel Flexibilität und Freiheit im Innern, aber Komfortstandards werden auf wirklich Notwendige reduziert. Ein zweites Credo: «Architekten und Ingenieure planen von Anfang an gemeinsam.» Das heisst, Bauphasen, die heute sehr additiv ablaufen, werden zusammengeführt. Alle Möglichkeiten der digitalen Planung und der digitalen Fabrikation, die an der ETH erforscht werden, wollen die Forscher ausreizen. Nachhaltigkeit auch im Planungs- und Bauprozess also. Noch ist das ITA-Gebäude eine Projektidee auf Papier, das nun der ETH-Schulleitung vorliegt. Sollte sie genehmigt werden, können sich alle Beteiligten auf spannende Erfahrungen freuen.

Schwerpunkt «Nachhaltiges Bauen»

Für die ETH Zürich ist «Nachhaltiges Bauen» ein strategisches Schwerpunktthema. Ziel ist es, die bestehenden Kompetenzen mit neuen Professuren an den Departementen Architektur sowie Bau, Umwelt und Geomatik zu stärken. Zudem soll die interdisziplinäre Forschung mit Industriepartnern aus dem Bausektor intensiviert, mehr Nachwuchskräfte mit Praxisbezug sollen ausgebildet und Forschungsprojekte ermöglicht werden. Bereits 2004 konnte mit Unterstützung der Holcim Foundation for Sustainable Construction die Assistenzprofessur «Nachhaltiges Bauen» mit Professor Holger Wallbaum besetzt werden. Eine neue Professur ist dank der Partnerschaft mit der Siemens Schweiz AG, Building Technologies Group, in der Berufung. Weitere Professuren sollen zusammen mit Partnern ermöglicht werden.

Weitere Informationen zur Initiative «Nachhaltiges Bauen» und Partnerschaften:
 Nathalie Fontana
 Projektleiterin ETH Zürich Foundation
 E-Mail: nathalie.fontana@ethz-foundation.ch
 Telefon: 044 633 69 61

Quellen:

Monte-Rosa-Hütte SAC. Ein autarkes Bauwerk im hochalpinen Raum. ETH Zürich (Hg.) gta Verlag, Zürich 2010

→ www.empa.ch/self/
 → www.ethglobe.ethz.ch/erdwaerme

Plattformen für Nachhaltigkeit

ETH Sustainability, die Koordinationsstelle für Nachhaltigkeit der ETH Zürich, betreut mehrere Initiativen im Bereich Nachhaltigkeit. Eine davon ist «Seed Sustainability», die 2001 aus einer studentischen Initiative hervorgegangen ist. Damit fördert die ETH Zürich Forschung zum Thema Nachhaltigkeit und bringt Studierende und Partner aus Wirtschaft, Verwaltung und NGOs zusammen. Die Studierenden entwickeln in Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten Lösungen für spezifische



Teilnehmer am «ecoworks»-Kreativ-Workshop. Der nächste findet am 3. November statt. (Bild: ETH Zürich)

Fragestellungen der Unternehmen. Laufende Arbeiten sind unter anderem die «CO₂-Bilanzierung in der Gastronomie» oder ein Projekt zur Optimierung der ungiftigen und zu 100 Prozent rezyklierbaren ZEBRA-Batterie.

Eine weitere Initiative, «ecoworks», koordiniert ETH Sustainability gemeinsam mit der SGU und Science City. Die «ecoworks»-Projektplattform hat sich zum Ziel gesetzt, den CO₂-Ausstoss der ETH Zürich zu reduzieren und ihre Energieeffizienz zu verbessern. Die Projektplattform steht Studierenden und Mitarbeitern der ETH offen, um kreative Ideen einbringen und Mitstreiter für ihre Projekte finden zu können. Die Schulleitung der ETH Zürich unterstützt «ecoworks» inhaltlich und finanziell. Die besten Projektideen, die am 3. November am Kreativ-Workshop ausgearbeitet werden, gewinnen eine Anschubfinanzierung in Höhe von insgesamt 100 000 Schweizer Franken.

→ www.seed-sustainability.ch

→ www.ecoworks.ethz.ch

Ausbildungen im Energiebereich

Zur Sicherung der Energieversorgung kann in den kommenden Jahren nicht auf die Kernenergie verzichtet werden. Um das bestehende Know-how für die Anlagen zu sichern und auszubauen, bietet die ETH Zürich in Kooperation mit der EPF Lausanne den Masterstudiengang in «Nuclear Engineering» an. Seit 2008 werden die Studierenden in drei Semestern in Reaktorphysik, -technologie, Sicherheit und Materialkunde ausgebildet. Nach dem ersten Semester in Lausanne wechseln die Studierenden an die ETH Zürich. Für die Masterarbeit stellt das Paul Scherrer Institut seine Infrastruktur zur Verfügung. Der Lehrgang wird von Horst-Michael Prasser, Professor für Kernenergie-Systeme an der ETH, geleitet. Ein weiterer Studiengang im Energiebereich ist der Master in «Energy

Science and Technology». Dort werden interdisziplinäre Energieexperten mit einem breit gefächerten Hintergrundwissen ausgebildet, um die Herausforderungen einer nachhaltigen Energieversorgung für unsere Gesellschaft zu sichern. Die Studierenden können aus einem Angebot an naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Kursen ihr Ausbildungsprogramm zusammenstellen. Ein zwölfwöchiges Industriepraktikum gewährt zusätzliche Einblicke in die Berufspraxis. Interessenten können sich für den neuen Kurs im Herbst 2011 vom 1. November bis zum 15. Dezember 2010 bewerben.

→ www.master-nuclear.ch

→ www.master-energy.ethz.ch

Erdwärmeforschung unter Hochdruck

Die Nutzung von Erdwärme hat grosses Potenzial für die Wärme- und Stromgewinnung in Europa, erfordert jedoch eine erfolgreichen Entwicklung der «Enhanced Geothermal Systems (EGS)»-Technologie. Das Projekt «GEO THERM» des Competence Center Environment and Sustainability (CCES) erforscht, wie und wo solche Systeme gebaut und optimal genutzt werden können. Gemeinsam mit Forschenden der EPF Lausanne und dem Paul Scherrer Institut untersuchen ETH-Wissenschaftler um Keith Evans die kritischen Prozesse, mit denen in mindestens drei Kilometern Tiefe ein Wärmetauscher im Gestein gebaut werden kann. Zur Erhöhung der Durchlässigkeit werden mit eingepumptem Hochdruck-Wasser bestehende Risse aufgeweitet. Die dabei auftretenden Scherbewegungen können als Mikro-Erdbeben auf Seismometern aufgezeichnet werden und führen bisweilen auch zu spürbaren Erschütterungen. Diese Signale, verknüpft mit Bohrloch-Untersuchungen und physikalischen und chemischen Prozess-Simulationen am Computer, geben den Geowissenschaftlern Informationen über den sich bildenden Wärmetauscher. Das Verständnis dieser Prozesse im Untergrund ist eine essentielle Grundlage für die technische Erschliessung dieser nachhaltigen und praktisch CO₂-freien Energiequelle.

→ www.cces.ethz.ch/projects/nature/geotherm



EGS-Pilotanlage im elsässischen Soultz-sous-Forêts. (Bild: GEIE EMC)

Wenn das Stromnetz mitdenkt

Um den wachsenden Stromhunger der Weltbevölkerung teilweise über klimaneutrale Energien wie Wind und Sonne abdecken zu können, muss das Elektrizitätsnetz intelligenter werden. Doch der Weg zum «Smart Grid» ist noch lang und mit politischen, wirtschaftlichen und technischen Herausforderungen gepflastert.

Samuel Schläfli

→ «Smart Grids» sind in aller Munde: Ende Oktober 2009 hat US-Präsident Barack Obama 3,4 Milliarden Dollar für den Aufbau eines intelligenten Stromnetzes gesprochen; insgesamt sollen in naher Zukunft sogar mehr als acht Milliarden Euro in die amerikanische Stromrevolution fliessen. Auch in China werden derzeit Milliarden in den «Strong and Smart Grid Plan» investiert, der ein neues, intelligentes Starkstromnetz über Tausende von Kilometern zum Ziel hat. Und Deutschland hat letztes Jahr 60 Millionen Euro für Zukunftsprojekte rund um «Smart Grids» mobilisiert; mit der Unterstützung von Stromriesen und IT-Konzernen stehen dafür sogar 140 Millionen Euro bereit. Auch wenn unter

halb bis 2030 nahezu verdoppeln – stark getrieben vom Wirtschaftswachstum Chinas und Indiens. Das hat Folgen für das Klima: Aktuell wird elektrische Energie zu rund 60 Prozent aus fossilen Rohstoffen produziert; alleine 40 Prozent fallen auf die Verbrennung von Kohle. Im Kampf gegen den Klimawandel ist die nachhaltige Stromerzeugung und -verteilung eine Herkulesaufgabe.

Wer sich aus der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen befreien will, ohne gleich mehrere neue Atommeiler zu bauen, muss alternative Energiequellen ans Stromnetz anbinden. Dazu bieten sich in erster Linie Wind- und Solarstrom an; sie sind emissionsfrei und grund-

Laut Internationaler Energieagentur (IEA) wird sich die Nachfrage nach Elektrizität bis 2030 nahezu verdoppeln.

«Smart Grids» nicht alle dasselbe verstehen; die Initiativen verfolgen ein gemeinsames Ziel: Elektrizitätsnetze sollen flexibler, effizienter und sicherer werden; sprich das Netz von morgen soll mitdenken und sich zu grossen Teilen selbst steuern.

Strom – das Erdöl der Zukunft

Die weltweite Aufrüstung der Stromnetze hat verschiedene Gründe: Die Weltbevölkerung wird Hochrechnungen der UN zufolge bis ins Jahr 2050 auf neun Milliarden anwachsen. Gemäss der Internationalen Energieagentur (IEA) wird sich die Nachfrage nach Elektrizität des-

sätzlich unendlich verfügbar. Nicht aber zu jeder Zeit. Was, wenn die europäischen Haushalte kochen wollen, während in Spanien dichte Wolken über den Solarpanels aufziehen und in der Nordsee Flaute herrscht? Ein neues Problem, denn bislang haben Stromproduzenten diese Engpässe durch Verbrennen von zusätzlicher Kohle oder Ablassen der Stauseen überbrückt. Erneuerbare Energien hingegen erfordern enorme Speicherkapazitäten oder eine intelligente Lastverteilung. Letzteres bedingt jedoch ein Netz, das Stromangebot und -nachfrage selbstständig zur Deckung bringt.





Der Kühlschrank als Stausee

An solchen dezentralen Systemen für eine intelligente Lastverteilung forscht auch die ETH Zürich. Eine Gruppe am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik hat Modelle entwickelt, wie der Stromverbrauch von Kühlschränken, Boilern und Waschmaschinen der jeweiligen Produktion angepasst werden könnte. 75 Prozent des Stromverbrauchs in den Haushalten werden alleine für Geräte verwendet, die kühlen oder heizen. Die Forscher haben berechnet, dass ohne Komfortverlust zu jeder Tageszeit ein Fünftel der Leistung für 20 Sekunden, 10 Prozent für 10 Minuten und 5 Prozent sogar für mehrere Stunden abgeschaltet werden könnte. Bei zu wenig verfügbarem Strom wird die Stromzufuhr zum Kühlschrank einfach kurzfristig abgeschaltet. Damit steigt die Temperatur im Innenraum um wenige Grad Celsius innerhalb einer klar definierten Toleranzzone und entlastet dadurch das Netz. Bei einem Produktionsüberschuss, zum Beispiel, wenn der Wind an der Nordsee besonders heftig bläst, könnte die überschüssige Energie hingegen durch verstärkte Kälteproduktion im Kühlschrank «gespeichert» werden. Ein Pilot-Modell wird zurzeit mit den Partnern der Fachhochschule Nordwestschweiz getestet. Ein ähnliches Lastmanagement wäre auch mit dem Auto denkbar. In einem interdisziplinären Projekt eruiert das Power Systems Laboratory zurzeit die Potenziale eines so genannten Vehicle-to-Grid-Systems. Plug-in-Hybride, deren Antrieb sowohl mit Strom als auch mit Treibstoff funktioniert, könnten dann nicht nur Strom vom Elektrizitätsnetz beziehen, sondern auch Batteriestrom ins Netz einspeisen. Dadurch ergäbe sich für die Netzbetreiber jedoch eine komplett neue Situation: Das Netz muss-



te nicht nur wie bisher einseitig Elektrizität in die Haushalte verteilen, sondern neu auch Strom von Tausenden oder Millionen Rückspeisern aufnehmen.

Damit dies möglich wird, braucht es ausgeklügelte Informations- und Kommunikationstechnologien. Das Stromnetz muss erkennen, wie viel Strom von der Fahrzeugbatterie gezogen werden kann, damit der Benutzer später

über weite Distanzen importieren, zum Beispiel Solarenergie aus Nordafrika oder Windenergie aus Norddeutschland. Um solche weiten Transporte möglichst verlustfrei zu gestalten, braucht es leistungsfähige Hochspannungsleitungen, also neue «Stromautobahnen».

In der EU wird deshalb zurzeit über ein «Supergrid» diskutiert. Ein neues Hochspannungsnetz soll ganz Europa miteinander verbinden

«Ein europäisches Supergrid ist heute technisch noch nicht realisierbar.»

Andrew Paice, Abteilungsleiter ABB-Forschungszentrum

noch nach Hause kommt. Oder wie lange die Leistung des Kühlschranks gedrosselt werden darf, ohne dass die Butter zerläuft. Dafür müssen Computer die Stromflüsse in Echtzeit überprüfen und ausgeklügelte Algorithmen die Produktion, die Distribution und den Verbrauch regeln. Der nötige Grad an Vernetzung und intelligenter Steuerung ist enorm: Ein Vertreter von Cisco, einem kanadischen Hersteller von Smart-Grid-Technologien, schätzte letztes Jahr, dass das Kommunikationsnetzwerk für ein Smart Grid rund 100- bis 1000-mal grösser sein werde als das heutige Internet.

Neue Stromautobahnen für Sonne und Wind
Nebst der Kommunikation stellt auch der Transport zukünftige Smart-Grid-Betreiber vor neue Herausforderungen. Erneuerbare Energien kommen heute vor allem dort zum Einsatz, wo diese vor Ort zur Verfügung stehen. Zum Beispiel in Dänemark, wo die Windräder oft nur wenige Kilometer von den Häusern der Endverbraucher entfernt stehen. Doch was ist mit den Ländern, die weder mit viel Sonne noch mit Wind gesegnet sind, zum Beispiel der Schweiz? Sie müssen erneuerbare Energien

und den effizienten Austausch von Strom aus unterschiedlichen Energiequellen gewährleisten. Für ein solches Netz bietet sich vor allem die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) an. Damit kann Strom mit Verlusten von weniger als drei Prozent pro 1000 Kilometer über weite Distanzen transportiert werden, also wesentlich effizienter als mit herkömmlichen Wechselstromleitungen, bei denen die Verluste bis zu sechs Prozent betragen. China betreibt bereits mehrere solche Leitungen über Tausende von Kilometern hinweg. Auch für die Stromzufuhr auf Bohrinself sind sie im Einsatz. Bisher sind HGÜ-Netze jedoch ausschliesslich Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. «Ein europäisches Supergrid, wie es zurzeit angedacht wird, ist heute technisch noch nicht realisierbar», sagt Andrew Paice, Abteilungsleiter am ABB-Forschungszentrum in Dättwil. Und weiter: «Um ein Supergrid zu bauen, müssen wir mehrere HGÜ-Leitungen sicher verbinden können. Dies ist eine enorme technische Herausforderung.» In Kooperation mit dem Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich forschen Mitarbeiter von ABB deshalb zurzeit an

Forschungsstelle Energienetze

Das Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich eröffnet gemeinsam mit dem Bundesamt für Energie (BFE), ABB, Alpiq, ewz, Pöyry, SBB, Swissgrid und Swisspower eine neue Forschungsstelle. Diese soll praktische Fragen aus der Industrie mit akademischem Wissen aus der Forschung verbinden. Ab Frühjahr 2011 werden drei Mitarbeiter kurzfristige Studien zu aktuellen Themen der Energiebranche erarbeiten. Ein wissenschaftlicher Beirat soll die Unabhängigkeit der Forschungsstelle von wirtschaftlichen Interessen garantieren. Vorerst sind Studien zu folgenden Themen geplant: volkswirtschaftliche Analyse von Netzausbauten, die zukünftige Rolle der Schweizer Wasserkraft in Europa und die Bereitstellung von neuen Systemdienstleistungen, wie zum Beispiel der Strom-Rückspeisung von Konsumenten.



Sonne aus der Sahara und Wind aus Nordeuropa: Über effiziente Elektrizitätsnetze sollen in Zukunft erneuerbare Energien über weite Distanzen nach ganz Europa transportiert werden. (Bilder: istockPhoto)

neuartigen HGÜ-Leistungsschaltern sowie an Möglichkeiten, einen solchen Knotenpunkt in den Schweizer Netzbetrieb zu integrieren.

Kraftwerk Wüste

Ein europäisches Supergrid wäre die Voraussetzung für eine der kühnsten Energievisionen unserer Zeit. Basierend auf den Ideen des Club of Rome will die Initiative «Desertec» die Sonne der Sahara anzapfen. In sechs Stunden empfangen alle Wüsten der Erde mehr Energie, als die Menschheit in einem Jahr verbraucht, rechnen die Initiatoren vor. 17 000 Quadratkilometer wollen sie durch solarthermische Kraftwerke, die Dampf für den Antrieb von Turbinen produzieren, nutzbar machen. An den Küsten wird die Anlage mit Windparks ergänzt. Ein Grossteil des Energiebedarfs des Nahen Ostens und Nordafrikas sowie 15 Prozent des europäischen Strombedarfs sollen zukünftig über den Wüstenstrom abgedeckt werden. Das Gesamtprojekt wird derzeit auf 400 Milliarden Euro beziffert. Das Deutsche Zentrum für Raum und Luftfahrt (DLR) hat berechnet, dass alleine für HGÜ-Leitungen 45 Milliarden

Projekt verbunden sind.» Andrew Paices Arbeitgeber ABB ist ein Partner und technischer Berater von «Desertec».

Kommt es zum Wüstenprojekt, so könnte die Schweiz im Stromverbund einst eine zentrale Rolle einnehmen, glaubt Alexander Küster, Fachexperte Smart Grids beim Schweizer Elektrizitätsnetzbetreiber Swissgrid. «Wir haben zwar nicht viel Wind und Sonne, aber mit unseren Stauseen sind wir so etwas wie die Batterie Kontinentaleuropas.» Damit Sonnen- und Windenergie aus Marokko in Schweizer Stauseen «eingelagert» werden kann, sind jedoch Investitionen in die Netzinfrastruktur nötig, so Alexander Küster. «Wir stossen mit dem aktuellen Netz in bestimmten Bereichen schon heute an Kapazitätsgrenzen. Für die Einspeisungen von erneuerbaren Energien aus dem Ausland müssten wir das Netz erneuern und weiter ausbauen.»

Schweiz ein Jahrzehnt im Rückstand

Bei Investitionen stecken die Energieproduzenten und Netzbetreiber jedoch in einem Dilemma: Einerseits möchten sie in intelligentere

tern» hätten sie die Möglichkeit ihren Stromverbrauch in Echtzeit zu überwachen und zu regeln. Wie beim Aktienhandel an der Börse könnte der Kunde je nach aktuellem Preis und Eigenbedarf Strom beziehen oder einspeisen. Das setzt jedoch die Energieproduzenten unter Druck: Weshalb sollten sie in neue Infrastrukturen investieren, wenn die Nachfrage nach ihrem Produkt dadurch sinkt? Zum Aufbau eines Schweizer Smart Grid bedarf es deshalb neuer Finanzierungsmodelle, sagt Alexander Küster. Er könnte sich vorstellen, dass Pensionskassen als langfristige Anlage in neue Strominfrastrukturen investieren, wie dies in anderen Ländern bereits der Fall ist. Es sei aber auch eine Aufgabe der Politik, mehr Verständnis und Akzeptanz für effizientere Technologien zu schaffen: «Noch fehlt in der Schweiz ein klares politisches Commitment zu intelligenteren Stromnetzwerken. Diesbezüglich ist die EU schon viel weiter.»

Dies sei nicht weiter verwunderlich, meint Michael Moser, Bereichsleiter Energieforschung beim Bundesamt für Energie (BFE): «Spanien und Norddeutschland sind uns in punkto erneuerbarer Energien ein Jahrzehnt voraus. Entsprechend haben wir in der Schweiz noch etwas länger Zeit, um unser Netz an die neuen Energiequellen anzupassen.» Obwohl die Schweiz den Anschluss auf keinen Fall verpassen dürfe, müsse nun erst einmal der volkswirtschaftliche Nutzen von unterschiedlich ausgestalteten intelligenten Netzen geprüft werden, so Michael Moser. Entsprechende Analysen werden auch Aufgabe der neu geschaffenen Forschungsstelle «Energienetze» an der ETH Zürich (siehe Kasten S. 26) sein. Michael Moser rechnet damit, dass der Aufbau von intelligenten Netzteilen Gesetzesänderungen bedingt und deshalb einem aufwändigen politischen Prozess unterliegt. Für Spekulationen darüber, ob sich der Bund bei der Umsetzung finanziell beteiligen könnte, sei es noch zu früh: «So weit sind wir heute einfach noch nicht.»

«Noch fehlt in der Schweiz ein klares politisches Commitment zu intelligenteren Stromnetzwerken. Diesbezüglich ist die EU schon viel weiter.»

Alexander Küster, Fachexperte Smart Grids, Swissgrid

Euro investiert werden müssten. Andrew Paice rechnet jedoch damit, dass es noch Jahrzehnte dauern wird, bis ein europäisches Supergrid mit einem wesentlichen Anteil an Solarstrom aus der Sahara Wirklichkeit ist. «Nicht in erster Linie wegen der technischen Herausforderungen; die werden lösbar sein. Doch vor allem wegen der politischen Fragen, die mit dem Pro-

und effizientere Netze investieren, andererseits sind die Energieproduzenten und Haushalte nicht bereit, die Kosten dafür zu tragen. Insbesondere, weil eines der Versprechen der Strommarktliberalisierung von 2007 günstigere Tarife waren. Doch auch die Kunden könnten von einem intelligenten Netz profitieren, ist Alexander Küster überzeugt. Über «Smart Me-

Clever mobil sein

ETH-Forscher tüfteln an neuen Antriebssystemen für umweltfreundliche Autos und beleuchten mögliche Zukunftsszenarien der Elektromobilität, unter anderem für die Stadt Zürich. Ihre Projekte sind ebenso herausfordernd wie vielversprechend und die Wissenschaftler können bereits mit beeindruckenden Ergebnissen aufwarten.

Klaus Wilhelm

→ «Es ist ein hervorragendes Antriebssystem für ein umweltfreundliches Auto», schwärmt Lino Guzzella über die erste Kombination eines Methan verbrennenden Motors und eines Elektromotors. Ein Hightech-Hybrid, wie der Professor vom Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik der ETH betont. Kein Umbau einer bestehenden Entwicklung, sondern von Grund auf neu konzipiert. «Wir versprechen uns einiges», sagt auch Konstantinos Boulouchos, Professor am Institut für Energietechnik und Vorsteher des Leitungsausschusses des Energy Science Center (ESC) der ETH. Gerade wird der Prototyp des Antriebssystems in den Hallen der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) zusammen- und dann in einen handelsüblichen VW Touran eingebaut. Wenn alles gut läuft, wollen die Wissenschaftler den Demonstrator noch in diesem Jahr erstmals unter Realbedingungen testen. «Dann», sagt Lino Guzzella gespannt, «wird sich zeigen, ob das Konzept aufgeht und unsere Berechnungen stimmen.»

Lange Tradition

Das Konzept ist – CLEVER. Was keine Anspielung ist auf den Grips, der in der Maschine steckt, sondern abgekürzt für «Clean and Efficient Vehicle Research» steht. Im Grunde setzt das Projekt CLEVER «nur» die lange Tradition von ETH- und Empa-Forschern mit alternativen Energien fort. Die Vision ist dabei klar: ein Automobil der Zukunft, sparsam und kostengünstig, sauber und mit deutlich reduziertem CO₂-Ausstoss. Und so komfortabel wie heute, mit gleichen Fahrleistungen und gleicher Reichweite.

«Für den Verbrennungsmotor unseres Hybrids setzen wir auf Methan als Treibstoff», erklärt Guzzella. Schon heute lässt sich das Gas effektiv und kostengünstig aus Biomasse herstellen. Insgesamt reduziert sich der CO₂-Ausstoss – alle Produktionsprozesse einbezogen – im Vergleich zu einem Benzinmotor um etwa 70 Prozent, wenn man das Gas beispielsweise in der Schweiz aus Holz herstellt. «Bei entsprechendem Willen», sagt der ETH-Ingenieur, «könnte man binnen zehn Jahren ein grossflächiges System der Biomethanproduktion und -vermarktung etabliert haben.»

Methan hat auch technisch viele Vorteile. Vor allem dank seiner hohen Klopffestigkeit – gemessen an der Oktanzahl von 130 gegenüber unter 100 herkömmlichen Benzins – eignet sich das Gas bestens für einen neuen Motor. «Damit lässt es sich hoch verdichten, was bei der Verbrennung die besten Wirkungsgrade ergibt», erklärt Konstantinos Boulouchos. Aber: Methan benötigt mehr Platz als die gleiche Energiemenge in Form von Benzin, was die Reichweite schmälern würde – es sei denn, man vergrössert den Tank exorbitant. Doch zukünftige Autos müssen im Sinne eines geringen Treibstoffverbrauchs so leicht wie möglich sein.

Im Normalfall übermotorisiert

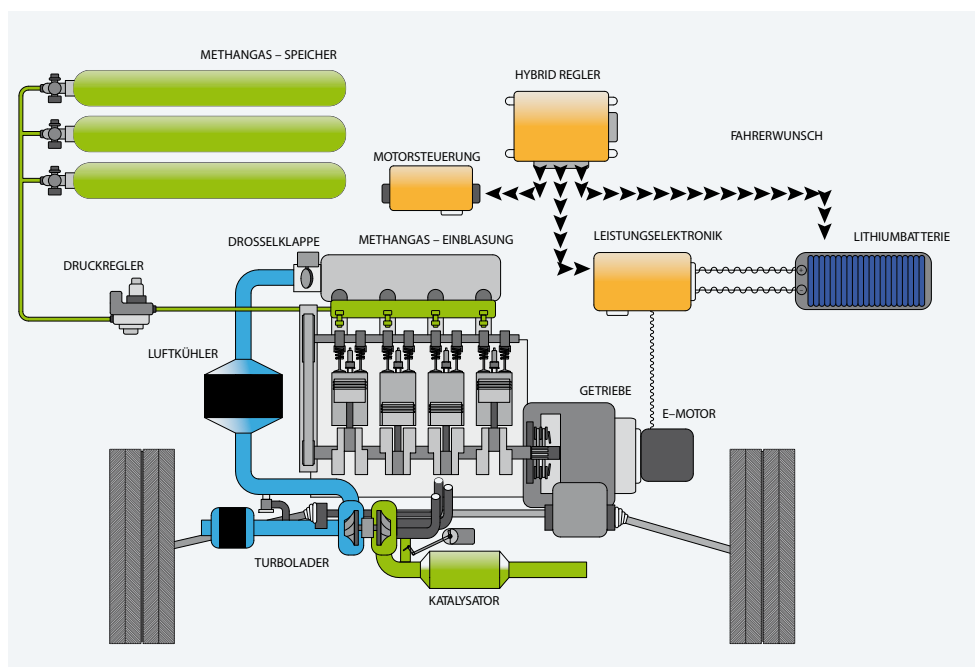
Gefragt ist also eine optimale Energieausnutzung auf allen Ebenen. Die CLEVER-Ingenieure gehen davon aus, dass die derzeit üblichen Autos im Normalfall übermotorisiert sind – für kurzzeitige Spitzenleistungen wie den Kavalierstart oder die Bleifussfahrt auf der Autobahn. Dann ist der Wirkungsgrad mit 37 Prozent (Benzin) und 41 Prozent (Diesel) hoch – also

jener Teil der im Treibstoff gespeicherten Energie, der in Antrieb umgesetzt wird und nicht als Wärme verloren geht.

Doch der Alltag des durchschnittlichen Automobilisten sieht anders aus; meist fährt er nur unter «Teillast», wie es im Fachjargon heisst. Verbrauchstechnisch gesehen ist das ein Desaster: Der Wirkungsgrad unter Teillast, der so genannte mittlere Wirkungsgrad, sinkt auf 18 bis 22 Prozent. Kleine Motoren, so die Überlegung der ETH-Experten, führen logischerweise zu einem deutlich erhöhten mittleren Wirkungsgrad. Um trotz dieses «Downsizing» die nötige Power zu generieren, braucht es einen Turbolader. Wird der Turbolader jedoch derart entworfen, dass ein tiefer Treibstoffverbrauch resultiert, reagiert er verzögert auf den Tritt aufs Gaspedal. Die Lösung der ETH-Experten: ein Elektromotor, die die Leistungslücke rasch schliesst, bis der Turbo ausreichend Schub erzeugt. Überdies bietet der Elektroantrieb der CLEVER-Ingenieure neue Möglichkeiten. So gewinnt der Motor beim Bremsen sonst verloren gehende Energie zum Teil zurück.

Intelligent gesteuert

Lino Guzzellas Gruppe hat die Elektro- und Regelungstechnik berechnet und simuliert. Die intelligente Steuerung ist einer der Kernpunkte des CLEVER-Konzepts und soll auch die stets optimale Fahrstrategie ermitteln. Dafür nutzt sie alle möglichen Daten, etwa aus GPS, Navi, Abstandsradar oder Verkehrsinformationen. Plant man zum Beispiel eine Fahrt von Stuttgart nach Zürich über die Schwäbische Alb, sollte man auf dem Weg auf die Berge den Elektroantrieb nutzen und die Batterie entleeren. Denn mit der gewonnenen Bremsenergie



Beim CLEVER-Konzept kombinieren die ETH- und Empa-Forscher einen Methan verbrennenden Motor mit einem Elektromotor – ein von Grund auf neu konzipiertes Antriebssystem, das noch in diesem Jahr in einem handelsüblichen Fahrzeug getestet werden soll. (Bild: Empa)

bergab kann der Speicher wieder mit elektrischer Energie gefüllt werden.

Das Team von Konstantinos Boulouchos hat sich mit Hochleistungscomputern um die Verbrennungsprozesse im neuen Motor gekümmert. «Es gab praktisch keine Erfahrungen über einen Gasmotor mit Direkteindüsung», sagt er. So mussten die Forscher unter anderem klären, wie sich das Gas mit der Luft vermischt, wie das Gemisch zündet, wie es aus dem Zylinder ausströmt und wie die hocheffiziente Abgasreinigung aussehen soll. In der Hand des Empa-Teams unter Patrik Soltic liegen jetzt die experimentellen Tests am neuen Antrieb.

Noch hat der Prototyp keine Plug-in-Batterie. Allerdings wäre die Umrüstung «kein Problem», wie Lino Guzzella sagt. Plug-in-Hybridfahrzeuge sind nach Ansicht seines ETH-Kollegen Fabrizio Noembrini, Geschäftsführer des Energy Science Center und Leiter der Gruppe Energiesysteme am Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme, ein kommender Trend und können über jede Steckdose aufgeladen werden. Sollte in einer Übergangsphase der Anteil der Elektromotoren in den kommenden 20 Jahren sukzessive steigen, braucht es entsprechende Stromressourcen. «Für die Energieunternehmen bedeutet das eine grosse Herausforderung», sagt der Ingenieur. Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich etwa benötigt dringend Simulationen für die Planung der kommenden Jahrzehnte. Das von Fabrizio Noembrini geleitete und von mehreren ETH-Forschergruppen gestaltete Projekt ARTEMIS beleuchtet mögliche Zukunftsszenarien der Elektromobilität.

Beispiel Zürich

Die Gruppe von Kay Axhausen, Professor am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, berechnet die Verkehrsströme in Zürich. Konstantinos Boulouchos' Team um Fabrizio Noembrini simuliert, wie die zukünftige Flotte und der entsprechende Stromverbrauch der verschiedenen Fahrzeuge aussehen könnten. Die Gruppe von Göran Andersson, Professor am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnologie, stellt dar, wie sich der Bedarf der Elektromobile auf die Übertragung und Verteilung des Stroms auswirkt und wie sich beispielsweise lokale, temporäre Preiserhöhungen bei gerade überlasteten Ladestationen auf das Verhalten der Fahrzeugnutzer auswirken.

«Die ARTEMIS-Simulationen sind hoch aufgelöst», sagt Fabrizio Noembrini. «Diese Feinheit ist sehr wichtig für die Netzbetreiber, weil durchschnittliche Werte wenig aussagen.»

Ob eines nicht mehr fernen Tages auch der CLEVER-Motor den Strom nicht nur der Schweizer Elektronenunternehmen anzapft, steht einstweilen in den Sternen. «Das Potenzial ist riesig», urteilt Lino Guzzella. Der US-Milliardär T. B. Pickens und die Obama-Administration denken jedenfalls ernsthaft darüber nach, massiv in die neue Technik zu investieren.

→ www.clever.empa.ch

→ www.lav.ethz.ch

→ www.ivt.ethz.ch

→ www.eeh.ee.ethz.ch

Das CLEVER-Projekt

CLEVER ist ein Gemeinschaftsprojekt der ETH Zürich und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa). Die beteiligten Forscher sind: Christian Bach und Patrik Soltic (beide Empa), Konstantinos Boulouchos, Reto Egli, Christian Lämmle und Yuri Wright (alle Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme der ETH Zürich) sowie Lino Guzzella, Christopher Onder und Olle Sundström (alle Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik der ETH Zürich).

Boliden unter Strom

Sie bauen Elektrorennwagen und fahren damit Teams davon, die zehnmal grösser sind. In Hockenheim liessen Studenten der ETH sogar die Benziner hinter sich. Eine Reportage aus dem Rennstall des Akademischen Motorsportvereins Zürich – ein Paradebeispiel dafür, wie bereits der wissenschaftliche Nachwuchs an der ETH an energiesparenden Konzepten «bastelt».

Florian Leu

Es waren die besten vier Sekunden seines Lebens. Bruno Reinhart sass im Cockpit eines Rennwagens und drückte aufs Pedal. Einen Atemzug später raste der Wagen mit 100 Stundenkilometern die Testpiste hinab. Reinhart riss es den Kopf nach hinten und die Mundwinkel nach oben.

Der Bolide sieht aus wie eine Seifenkiste der Superlative. Er fährt ohne Benzin, dafür mit Akkus. Das Gefährt heisst Furka: Ergebnis von Tausenden Stunden Gratisarbeit, Hunderten Litern Schweiß, Dutzenden Freinächten. Eine Handvoll Maschinenbaustudenten hat vor vier Jahren im Rahmen eines Fokusprojekts der ETH einen ersten Rennwagen gebaut, Sommer für Sommer ein neues Modell auf die Rennbahn geschickt, diesen Winter einen Wagen mit Elektroantrieb entwickelt und damit in Silverstone

den Siegerpokal geholt. Reinhart hat daraus ein Hobby gemacht, das einen Aufwand von 30 Stunden die Woche bedeutet, Augenringe der dunklen Schattierung – und einen Tanz der Endorphine, wenn er ins Cockpit steigt und beschleunigt bis zum Anschlag.

Allrounder mit Schlafmanko

Reinhart machte mit, weil er nicht wusste, wohin sein Studium führt. Das kann er auch heute nicht sagen, Zukunftssorgen macht er sich aber keine. Alle Mitglieder des Akademischen Motorsportvereins Zürich haben Praktika bei Autoherstellern gemacht oder es liegen Angebote auf ihrem Tisch. Was damit zu tun hat, dass sie in der Werkhalle und auf den Rennstrecken nicht nur den Umgang mit Schraubenschlüsseln lernen, sondern sich auch ums Mar-

keting kümmern, um die Sponsorsuche, den Businessplan, die Reise zu den Rennorten, einfach alles. Die ETH Zürich und die Hochschule Luzern bieten den Rahmen, stellen Doktoranden als Betreuer zur Verfügung, den Rest erledigen die Studenten. Wer zum Team stösst, lernt neben der Schönheit der Schnelligkeit auch die Bedeutung eines Wortes kennen: Engagement.

Die Mannschaft ist eine der kleinsten, gehört aber zu den besten der Welt. 430 Mannschaften fahren den Pokalen entgegen, allein in Europa treten 140 gegeneinander an, rund 20 setzen seit diesem Jahr auf Strom. Weil sie davon ausgehen, dass hier die Zukunft der Fortbewegung liegt. Aber auch, weil es Ingenieure herausfordert und ihnen Freude macht, die Benzi-ner mit Batterien stehen zu lassen. Es gibt



Furka in voller Fahrt beim Formula-Student-Rennen auf dem legendären Hockenheimring. In nur 3,5 Sekunden beschleunigt der Rennwagen von null auf 100 km/h. Seit dieser Saison fährt Furka ausschliesslich mit Elektromotoren. Damit schafft er 22 Kilometer am Stück. (Bild: Harald Almonat)

Seit die Studenten auf einen Auspuff verzichten, haben sie keine böse Zeile mehr über sich gelesen und ziehen mehr Sponsoren an denn je.

Mannschaften mit Leuten, die für nichts als die Präsentation des Businessplans zuständig sind, eine von einem halben Dutzend Disziplinen, die an den Rennen gewertet werden. Im Team aus der Schweiz sind die Mitglieder Alleskönner. Doch trägt jeder die Verantwortung für einen Bereich, in dem er sich besser auskennt als die andern, mal ist es der Antrieb, mal das Chassis, mal die Elektronik. Reinhart ist der Captain, doch eigentlich gibt es keine Hierarchie.

Vor den Rennen ist die Zeit der Augenringe und der Notfallübungen. Erst steigt der Motor aus, dann lahmt der Akku, zuletzt hapert es mit den Kabeln. So war es auch vor dem Rennen in Hockenheim, das Anfang August stattfand. Das Team reiste mit Schlafmanko an. Fünf Tage später reiste es ab in einem Zustand nah am Schlafwandel.

Teer und Tempomanie

Der Hockenheimring: eine Anlage mit mehr Zuschauerplätzen als drei Fussballstadien. Aufheulende Motoren, aufsteigende Rauchschwaden. Studenten, die neben Reifenstapeln schlafen, während ihre Kollegen mit dem Schweißgerät Funken versprühen. Gefahren

wird auf Strecken, die nicht zum Ring gehören. Der Hockenheimring: eine religiöse Stätte aus Teer und Tempomanie. Und der Ort, an dem die inoffizielle Weltmeisterschaft der Formula Student stattfindet, an der auch das Team aus Zürich und Luzern am Start steht.

Am Morgen hat die Mannschaft den Preis fürs Design gewonnen, weil ihr Auto mit 220 Kilo am wenigsten wiegt. Nun stehen Disziplinen auf dem Programm wie die Beschleunigungsfahrt, die Acht, das Ausdauerrennen. Erst müssen die Boliden 75 Meter so schnell wie möglich zurücklegen. Dann auf einem Kurs von der Form einer Acht zeigen, wie sie sich in der Kurve lenken lassen. Schliesslich über 22 Kilometer Gas oder Strom geben. Auf einer Strecke, die mit Verkehrskegeln so eng abgesteckt ist, dass der Fahrer dauernd am Steuer reissen und am Ende erschöpft aus dem Cockpit steigen wird, nass vor Schweiß.

Reinhart und seine Kollegen drängen sich in der Box, in der kaum Platz ist. Ständig klingelt Reinharts Handy, nach fünf Tagen in Hockenheim wird eine dreistellige Rechnung im Briefkasten liegen. Die Sitzschale aus Karbon liegt neben dem Auto, vier Studenten untersuchen Furkas Innenleben, tasten Kabel ab, die sich auf

über 300 Meter erstrecken, wenn man sie zusammen nimmt: Furkas Nervenkostüm. Auf dem Rahmen prangen die Logos der Sponsoren, von BMW über Caterpillar bis zum EWZ. Das Auto ist bis auf den letzten Quadratzentimeter voll geklebt. Seit die Studenten auf einen Auspuff verzichten, haben sie keine böse Zeile mehr über sich gelesen und ziehen mehr Sponsoren an denn je. Immer wieder sirrt der Motor, doch man hört ihn kaum. Furkas Lebensäusserungen bestehen aus dem Rattern seiner Ketten und dem dünnen, feinen Klang seines Motors. Stünde man mit verbundenen Augen daneben, wähte man sich in einer Messehalle für Küchengeräte. Die Studenten sitzen auf den Rädern, betrachten die Bildschirme ihrer Laptops und werfen die Stirn in Falten, als hätten sie das Kardiogramm eines Notfallpatienten vor Augen. Eine Lautsprecherstimme verkündet, die Wagen sollen zum Rennen ausrollen.

Ein Fehler kann tödlich sein

Zu diesem Zeitpunkt hat Furka bereits eine Prüfung hinter sich gebracht, bei der Spezialisten die Sicherheit der Maschine untersucht haben. Es gab einen Test, bei dem der Fahrer das Cockpit in fünf Sekunden verlassen musste. Einen, bei dem sich zeigte, dass der Wagen auch bei Regen keinen Kurzschluss bekommt. Massnahmen, die wichtig sind. Ein Fehler kann einen Fahrer töten, so stark ist der Strom. Die Akkus links und rechts von ihm, jeder 70 Kilo schwer, gleichen kleinen Kraftwerken. Ihr Gewicht ist der Grund, den viele ins Feld führen, die den Elektroantrieb bekämpfen. Benzin wiegt zehnmal weniger, was aber nicht nur von Vorteil ist. Mehr Gewicht senkt den Schwerpunkt und gibt dem Boliden mehr Bodenhaftung. Was auf Rennstrecken keine Rolle

Letzte Vorbereitungen vor dem Start: Da wird montiert, geprüft und gebannt auf den Bildschirm des Laptops geschaut, als ob er das Kardiogramm eines Notfallpatienten zeigte. Im Furka-Team sind die Mitglieder Alleskönner. Doch trägt jeder für den Bereich die Verantwortung, in dem er sich besser auskennt als die andern. (Bild: Harald Almonat)





Erschöpft, aber glücklich – das Furka-Team mit seinem Elektro-Rennwagen auf dem Hockenheimring. Unzählige Stunden Arbeit liegen hinter den Studenten. Doch der Aufwand lohnt sich jedes Mal: Mit Furka räumten sie bei diversen Rennen bereits zahlreiche Preise ab. Und auch diesmal ging das Team nicht leer aus. (Bild: Harald Almonat)

spielt, wird im Strassenverkehr wichtig werden: die Dauer der Entladung. Die Batterien des Boliden brauchen nur über eine Strecke von 22 Kilometern Energie zu liefern. Dann dauert es eine Stunde, bis sie wieder geladen sind. Wäre man so auf der Strasse unterwegs, müssten die Stromtankstellen gross sein wie Fussballfelder.

«Alles tut dir weh»

Der Beschleunigungswettbewerb: Hunderte von Leuten schauen zu und wirken unter ihren Schlapphüten wie Tennissfans in Zeitlupe. Sie bewegen die Köpfe so träg hin und her, als würden sie meditieren, während die Autos vorbeibrettern. Jeder Motor ist eine Persönlichkeit, jeder hat seinen eigenen Klang. Es schnurrt und knurrt, rattert und knattert, sirrt und surrt. Mal donnern die Benziner dahin, mal zischen die Stromboliden ins Ziel. Furka rollt zurück in die Box, die Reifen haben jetzt eine Temperatur von etwa 90 Grad. In der Werkstatt stürzen sich Reinhart und seine Kollegen auf das Auto. Sie trinken aus Kaffeebechern und aus Riesencolaflaschen, essen Sandwichs mit drei Lagen und Frankfurter aus der Würstchenbude, die Verpflegung für fünf Tage. Nochmals wird alles geprüft, ausgeleuchtet, abgeklopft. Vor dem Wagen stehen Studenten, die für das Rennen aus Zürich angereist sind und im Herbst bei dem Projekt einsteigen wollen. Reinhart erklärt den Wagen, eine Folge von Wörtern wie: Monocoque, Nockenwelle, Nachlaufwinkel, Differenzialgetriebe, Traktionskontrolle, Gitterrohrrahmen, Crashnase. Er schildert, wie schwer eine Fahrt für Anfänger ist: «Nach dem Aussteigen hast du Mühe, etwas in die Hände zu nehmen. Alles fällt dir runter. Alles tut dir weh.» Reinhart ist ein Mann ohne

Schnickschnack, ein Typ mit permanenten Ölschmieren an den Händen, ein Macher im Hintergrund. Wenn er etwas sagt, dann gerade heraus. Nur einen Satz hebt er hervor und schaut den Studenten in die Augen: «Macht Werbung für uns, Jungs!» Das Team leidet unter Mitglieder-mangel, für das Herbstsemester haben sich erst wenige verpflichtet. Die meisten sind schon Jahre dabei. Ein Grund für den Erfolg, weil das Wissen erhalten bleibt und das Team sich immer besser kennt, in der Box fast ohne Worte auskommt. Ein Grund für den Frust, weil einige ihr Wissen gern weitergeben und sich an andern Dingen widmen würden.

Schlafen statt feiern

Das Ausdauerrennen beginnt um zehn in der Nacht. Es ist das erste Mal, dass die Studenten im Dunkeln fahren. Reinhart sagt, man könne kaum beurteilen, wie die Bodenhaftung sein werde. Er bezeichnet das Rennen als Blindflug. Heliumballone tauchen die Strecke in ein Licht wie auf einem Filmset. Während sich die Ränge füllen, schwitzen in der Box die Studenten. Im Nachmittagsrennen liess sich Furka kaum noch steuern. Die Felgen hatten Risse, Ersatz musste her. Als der Wagen dann doch auf die Rennbahn schiesst, ist es erstaunlich still. Man hört vor allem den Kommentator, dessen Stimme dem Publikum so laut entgegenschallt, dass Kinder zu weinen beginnen. Irgendwann fällt ihm nichts ein und Streichmusik kommt aus den Lautsprechern. Wie die Autos umher-sausen, während diese Musik erklingt: ein Ballett der Boliden. Felgen glänzen, Funken stieben, Fahrerköpfe ruckeln, Eltern springen von ihren Plastiksitzen auf, wenn der Sohn vorbeibraust.

Das Team aus Zürich belegt Rang fünf. Bald ziehen sich die Studenten auf den Campingplatz zurück. Einer hat zwei Taschen bereitgestellt, eine mit Würstchen, eine mit Bier. Sie werden essen und trinken und bald schlafen gehen. Als sie ein paar Wochen zuvor in Silverstone gewonnen hatten, machten sie es genauso. Nicht, dass sie etwas gegen eine Siegesfeier hätten. Sie waren nach fünf Tagen und Nächten Schwitzen, Schrauben, Schweißen nur zu müde dazu. Und krochen, nachdem sie den Pokal in die Luft gestreckt hatten, gleich ins Bett.

→ www.amz.ethz.ch

Furka im Detail

Gewicht: 220 Kilo **Masse:** 2,72 m Länge, 1,42 m Breite, 1 m Höhe **Motor:** 82 PS
Drehmoment: 130 Nm **Akku:** 180 Lithium-Polymer-Zellen à 13,5 Ah, Nominalspannung 108 V **Elektronik:** Traktionskontrolle und Torque Vectoring, Rückgewinnung der Bremsenergie **Antrieb:** Radstand 1625 mm, Spur 1200 mm/1150 mm, CFK-Doppelquerlenkerfahrwerk mit Pullrods über Umlenkhebel auf Feder-Dämpfer-Elemente abgestützt, Felgen mit 20,5" Bereifung, schwimmend gelagerte Bremsscheiben, ein Kettentrieb pro Hinterrad, Carbon-Antriebswellen mit Tripodengelenken in Aluminiumgehäusen.
Chassis: Carbon-Monocoque mit Stahl-Überrollbügel, verstellbare Pedalbox, CFK-Lenkrad, Gewicht der tragenden Struktur mit Brackets und Überrollbügel: 24 kg

Die Saubermänner

Die beiden ETH-Doktoranden Christoph Gebald und Jan Wurzbacher haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich Kohlendioxid umweltfreundlich und emissionsfrei aus der Luft filtern lässt. In rund zwei Jahren soll das erste kommerzielle Produkt marktreif sein. Dazu gründeten die beiden Forscher den ETH-spin-off «Climeworks».

Lukas Langhart



Jan Wurzbacher, Christoph Gebald und Professor Aldo Steinfeld (v. l.) mit dem Laborprototyp. (Bild: Tom Kawara)

➔ Das Rad haben sie nicht neu erfunden. Denn theoretisch ist seit langem bekannt, wie man Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Luft abscheiden kann. Doch bisherige Technologien haben den Nachteil, dass sie Unmengen an Energie benötigen. Christoph Gebald und Jan Wurzbacher haben nun unter der Leitung von Aldo Steinfeld, Professor für Erneuerbare Energieträger an der ETH Zürich, einen Apparat entwickelt, der das CO₂ energieeffizienter und solarbetrieben binden und als reinen Rohstoff wieder freigeben kann. Dieser Rohstoff kann dann wiederum zur Herstellung von synthetischen flüssigen Treibstoffen wie Benzin, Diesel oder Kerosin verwendet werden.

Steinfelds Gruppe entwickelt in enger Zusammenarbeit mit dem Labor für Solartechnik am Paul Scherrer Institut, unterstützt vom Bundesamt für Energie, auch die Reaktortechnologie zur CO₂- und Wasserspaltung mit Hilfe konzentrierter Solarenergie. Hierbei handelt es sich um einen thermochemischen Zyklus, der auf einem so genannten Metalloxid-Redox-System basiert. Das resultierende Synthesegas

(Wasserstoff und Kohlenmonoxid) kann weiter zu flüssigen Treibstoffen umgewandelt werden.

Mit ihrer Entwicklung schlagen die ETH-Forscher zwei Fliegen mit einer Klappe: Indem sie das Treibhausgas aus dem atmosphärischen Kreislauf entziehen, tragen sie theoretisch zur Lösung der Klimaproblematik und der drohenden Erdölknappheit bei. Doch diese Dimensionen liegen derzeit noch in weiter Ferne.

Spezieller Filter

Der Prototyp ihres CO₂-Abscheiders hat zurzeit noch auf dem Labortisch Platz, und die Energieeffizienz lässt noch zu wünschen übrig. Doch die beiden jungen Forscher blicken mit sehr viel Zuversicht in die Zukunft. Denn gegenüber anderen, ähnlichen Projekten hat das ETH-Verfahren einen entscheidenden Vorteil: Das von den Doktoranden entwickelte und patentierte Filtermaterial, welches das CO₂ adsorbieren kann, besteht aus erneuerbaren Rohstoffen und kann ausserdem sehr kostengünstig produziert werden. Hinzu kommt, dass die von Gebald und Wurzbacher entwickelte Technologie mit Nie-

dertemperaturwärme unter 100°C läuft, also sämtliche benötigte Energie mit Hilfe von Solarkollektoren gewonnen werden kann. Und weil der Apparat das CO₂ direkt aus der Umgebungsluft saugen kann, ist er – mit Rücksicht auf die benötigte Sonneneinstrahlung – standortunabhängig einsetzbar.

Erster Test im Gewächshaus

Der erste voll funktionstüchtige Prototyp soll 2012 in einer Gewächshausanlage im Kanton Zürich in Betrieb genommen werden. Die beiden Doktoranden sind überzeugt, dass die Weiterentwicklung schneller vorangetrieben werden kann, wenn sich die Technologie auf dem Markt beweisen muss. Deshalb gründeten sie im November 2009 die Climeworks GmbH – als offiziellen Spin-off der ETH Zürich. In rund zwei Jahren soll das erste kommerzielle Produkt Marktreife erlangt haben, und 2016 will Climeworks in grossem Massstab CO₂ aus der Luft abscheiden können – so jedenfalls sieht es der Businessplan vor.

Unter anderem dieser ambitionierte Businessplan verhalf dem ETH-Spin-off in der Endauscheidung der Förderinitiative «Venture Kick» zum Erfolg: Climeworks erhielt im Mai dieses Jahres insgesamt 130 000 Schweizer Franken Startkapital, das für den Aufbau der jungen Firma besonders wichtig ist. Ausserdem werden die weitere technologische Entwicklung und der anstehende Scale-up, welche als gemeinsames Projekt der ETH Zurich, der Empa und der Firma Climeworks durchgeführt werden, durch eine Finanzierung der «GEBERT RÜF STIFTUNG» unterstützt. So bald wie möglich wollen die beiden Gründer ein drittes Teammitglied anstellen, das sich vor allem um das Management kümmern soll, so Christoph Gebald – «damit wir zwei unsere ganze Energie in die Weiterentwicklung unserer Technologie stecken können».

➔ www.climeworks.com

➔ www.pre.ethz.ch

«Die Märkte alleine werden es nicht richten»

Viele Staaten befürchten, dass Massnahmen zugunsten erneuerbarer Energien und Gesetze gegen CO₂-Emissionen das Wirtschaftswachstum zwangsläufig bremsen. Eine unberechtigte Angst, erklärt der Ressourcenökonom Lucas Bretschger.

Interview: Samuel Schläfli

Herr Bretschger, kann die Schweiz ihren Energieverbrauch senken, ohne dass die Wirtschaft darunter leidet?

Wirtschaftliches Wachstum ist nicht von einem steigenden Energiekonsum abhängig, das zeigen alle unsere Studien. Wir haben das für die Schweiz berechnet: Alle Branchen könnten auch bei einem deutlich geringeren Energieeinsatz weiterhin wachsen, wobei das Wachstum bei energieintensiven Branchen etwas gebremst würde. Wachstum hängt in erster Linie von Innovationen und Investitionen ab.

Woher sollen die Gelder für Investitionen in effizientere und klimaneutrale Technologien kommen?

Die Schweiz importiert 80 Prozent ihres Energiebedarfs und bezahlt jährlich mehrere Milliarden Franken für Erdölprodukte ans Ausland. Ein Teil dieses Geldes könnte auch hier für Investitionen und die Förderung von sauberen Technologien investiert werden. Das würde der Schweiz langfristig neue wirtschaftliche Perspektiven eröffnen. Die Diskussion zum Thema erneuerbare Energien dreht sich aber vor allem um die Kosten – nicht nur in der Schweiz, sondern weltweit. Hier ist ein Paradigmenwechsel nötig: Es muss gelingen, die positiven wirtschaftlichen Effekte, die ein Wechsel hin zu den erneuerbaren Energien ohne Zweifel hätte, in den Fokus der Diskussion zu rücken.

Bisher rechnen sich Investitionen in erneuerbare Energien aber oft nicht.

Das hängt alleine von den Kosten und Erträgen ab. Je höher die Preise für nicht erneuerbare Energien sind, desto rentabler werden die erneuerbaren. Diese Entwicklung müsste vom Staat zum Beispiel durch eine griffige Klimapolitik oder Subventionen für klimaneutrale Technologien gefördert werden.

Solche Rufe eines Ökonomen nach staatlichen Eingriffen in die Marktwirtschaft sind ungewohnt. Besteht dabei nicht die Gefahr von Marktverzerrungen?

Die Märkte alleine werden es nicht richten; das Klimaproblem ist das wohl grösste Marktversagen aller Zeiten. In solchen Fällen sind politische Eingriffe in den Markt auch nach liberalen Vorstellungen durchaus anerkannt. Die Kosten für Umweltschäden, die durch CO₂-Emissionen und andere klimawirksame Gase verursacht werden, werden heute externalisiert; sie fallen also nicht bei den Verursachern an. Dadurch wird der Markt stark verzerrt. Zweckmässige politische Eingriffe führen deshalb in solchen Fällen zu mehr Markteffizienz.

In den USA wurde soeben das Klimagesetz im Senat verworfen und in der Schweiz sorgt die Revision des CO₂-Gesetzes im Parlament weiterhin für rote Köpfe. Wieso gibt es noch keine breite Allianz, die sich für eine griffige Klimapolitik einsetzt?

Das Problem bei solchen Gesetzen ist: Die Kosten fallen heute an, der Nutzen wird aber erst längerfristig sichtbar. Leider überwiegen die kurzfristigen Interessen bislang die langfristigen Perspektiven. Zudem ist die Cleantech-Industrie noch nicht genügend stark, und die Dienstleister, die in grüne Technologien investieren, melden sich bislang politisch nur spärlich zu Wort.

Inwiefern bräuchte ein Alleingang der Schweiz mit einem strengen CO₂-Gesetz überhaupt etwas?

Der Klimawandel ist ein globales Problem, das eine globale Antwort erfordert. Doch wir brauchen Vorreiter. Diese Rolle müssen die entwickelten Länder übernehmen, darunter auch die Schweiz. Einerseits können sie sich Investitionen für die Förderung von erneuerbaren Ener-

gien leisten, andererseits sind sie die Hauptverursacher der weltweiten CO₂-Emissionen. Gleichzeitig eröffnen sich dem High-Tech-Land Schweiz mit diesem Weg grosse Chancen: Mit einer führenden technischen Hochschule und viel Kapital, das nach Investitionsmöglichkeiten sucht, hat sie in punkto Cleantech einen starken Standortvorteil gegenüber anderen Ländern.



Zur Person

Lucas Bretschger ist Professor für Ressourcenökonomie am Departement Management, Technologie und Ökonomie der ETH Zürich. Er untersucht den langfristigen Zusammenhang zwischen Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum unter dem Gesichtspunkt der nachhaltigen Entwicklung.

→ www.ethglobe.ethz.ch/nachhaltigesbauen

Shaping the future today?



Yes, your ideas and our technologies can contribute to economic, social and environmental progress. Alstom is a global leader in the world of power generation, power transmission and rail infrastructure and sets the benchmark for innovative and environmentally friendly technologies. Alstom builds the fastest train and the highest capacity automated metro in the world, provides turnkey integrated power plant solutions and associated services for a wide variety of energy sources, including hydro, nuclear, gas, coal and wind, and it offers a wide range of solutions for power transmission, with a focus on smart grids. The Group employs 96,500 people in more than 70 countries, and had sales of over € 23 billion in 2009/10.

Motivated Graduates (m/f) Engineering and Business Studies

We are always looking for graduates who can demonstrate a spirit of innovation, who are keen to take on responsibility early in their career and who are internationally minded and mobile.

If you are looking for an internship, a hands-on topic for your Bachelor/Master thesis, a tailor-made career entry program or a job in an international environment working with cutting-edge technology, why not join our teams in Switzerland or abroad?

Internships or Bachelor/Master theses

For vacancies in Switzerland, check our careers page (www.careers.alstom.com). For international opportunities, register with IAESTE, an international internship exchange program, and check their webpage (www.iaeste.com).

Graduate development programs or permanent positions

Check our careers page (www.careers.alstom.com) and learn more about our finance and engineering trainee programs or exciting job opportunities.

Find more information or the relevant contact person and apply online – create your individual career account on our new e-recruitment system which allows you to upload your CV, match your profile with our openings and monitor the status of your application. Discover the opportunities Alstom offers at:

www.careers.alstom.com

We are Shaping the future

ALSTOM



Tom Frey, Key Account Manager
«Veränderung bedeutet
Flexibilität und die Bereitschaft,
neue Routen zu finden»

Ihr partner für
1to1
energy

Die Liberalisierung im Strommarkt setzt Impulse frei und eröffnet neue Chancen. Wir verstehen sie als Aufforderung, uns dynamisch weiterzuentwickeln. Dazu sind wir auf engagierte Mitarbeitende angewiesen, wie beispielsweise Tom Frey. Als Key Account Manager findet er flexibel die richtigen Routen zum Erfolg – und trägt so zur Unternehmensentwicklung bei.

Bei der BKW-Gruppe sorgen 2800 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter heute dafür, dass bei mehr als einer Million Menschen zuverlässig der Strom fließt. Gehören Sie morgen dazu? Wir freuen uns, wenn Sie mit uns die Zukunft angehen.

BKW FMB Energie AG, Human Resources Management, Telefon 031 330 58 68,
info@bkw-fmb.ch, www.bkw-fmb.ch/karriere

BKW [®]

Temperatur beeinflusst «CO₂-Atem»

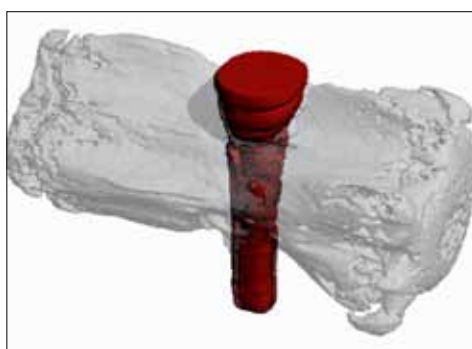


Pflanzen und Böden nehmen nicht nur CO₂ auf, sie atmen dieses auch wieder aus. (Bild: flickr.com)

Ein zentraler und nicht vollständig verstandener Bestandteil der Klimamodelle ist der Kohlendioxid-Kreislauf. Kohlendioxid, das in Böden und Pflanzen über Photosynthese gebunden ist, wird zum Teil durch die CO₂-Atmung wieder freigesetzt, und zwar abhängig von der Temperatur. Forscher der ETH und des Forschungsinstituts Agroscope ART haben nun einen Einheitswert für die kurzzeitige Temperaturempfindlichkeit des CO₂-Ausstosses terrestrischer Ökosysteme bestimmt. Die Auswertung der global

gesammelten Daten von 60 Messstationen ergab, dass dieser Wert 1,4 beträgt, unabhängig vom Ökosystem und von der Klimaregion. Das bedeutet, dass die CO₂-Freisetzung der Böden mit steigender Temperatur weniger stark zunimmt als vermutet. Frühere Annahmen waren von einem Wert zwischen 1,5 und 2 ausgegangen. Die Ergebnisse beziehen sich allerdings nur auf einen Messzeitraum von wenigen Tagen bis einigen Wochen. Für eine zuverlässige CO₂-Bilanz müssen zusätzlich Langzeiteffekte analysiert werden.

Halt für fragile Knochen



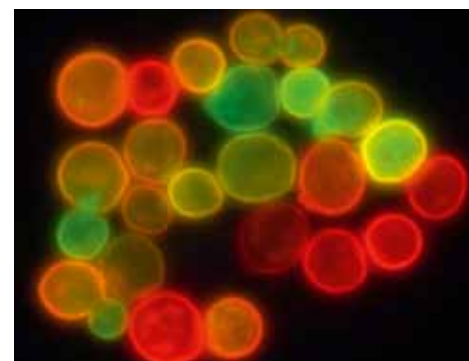
Ein mit Titan ummanteltes Aluminium-Implantat im Schwanzwirbel einer Versuchsmaus. (Bild: Davide Ruffoni/ETH Zürich)

Komplizierte Knochenbrüche müssen in der Regel mit Schrauben oder Platten fixiert werden. Während die Knochen bei jungen Menschen problemlos um das Implantat zusammenwachsen, ist der Heilungsprozess vor allem bei älteren Osteoporose-Patienten wesentlich komplizierter. Davide Ruffoni, Postdoktorand am Institut für Biomechanik

der ETH, hat eine In-vivo-Methode entwickelt, mit der er untersucht, wie Implantate besser in osteoporotischen Knochen verankert werden können. Für seine Arbeit wurde der 31-jährige Biomechanikingenieur gleich zweifach ausgezeichnet. Im Mai dieses Jahres erhielt er den mit 20 000 Euro dotierten «IOF-Servier Young Investigator Award» der internationalen Osteoporose-Gesellschaft. Im Juni wurde ihm zusätzlich der «Postdoctoral Fellowship Award» der European Calcified Tissue Society mit 60 000 Euro verliehen. Bei Ruffonis Methode werden mit Titan ummantelte Aluminiumimplantate in Schwanzwirbel von Mäusen eingesetzt. Mit Hilfe eines speziellen Computertomografen kann über Wochen verfolgt werden, wie das Implantat bei osteoporotischen Mäusen im Vergleich zu gesunden Mäusen einwächst. Zudem können verschiedene Beschichtungen getestet werden, die die Integration der Implantate verbessern sollen.

Zellen im Schlaraffenland

Hefezellen nutzen Glukose, eine Zuckerart, zur Energiegewinnung und als Signalstoff. Nehmen sie Glukose auf, beeinflusst das ihren pH-Wert. Je höher der pH-Wert ist, desto basischer ist das Zellinnere. Die Forschergruppe von Matthias Peter, Professor für Biochemie an der ETH Zürich, fand nun heraus, dass ein hoher pH-Wert Zellen den entscheidenden Impuls zum Wachsen gibt. Sie versorgten Hefezellen abwechselnd mit viel Glukose und entzogen sie ihnen wieder. Nach Zugabe des Zuckers stieg der pH-Wert im Zellinneren innerhalb weniger Minuten an. Mussten die Zellen hungern, fiel ihr pH-Wert genauso schnell wieder ab. Diese Schwankungen werden von einem Sensorprotein registriert. Bei Nahrungsüberfluss und damit hohem pH-Wert wird es aktiv und regt die Zellteilung an. Das funktioniert nicht nur bei Hefezellen, sondern auch bei den von den Forschern untersuchten Zellen der Bauchspeicheldrüse. Der pH-Wert könnte daher ein universelles Wachstumssignal sein. In welcher Weise pH-Wert und Wachstum zusammenhängen, ist jedoch noch nicht vollständig geklärt. Für die Zellen hätte der Mechanismus allerdings einen grossen Vorteil: Statt jeden Nährstoff einzeln aufspüren zu müssen, könnten sie über den pH-Wert die Verwertung unterschiedlicher Nährstoffe messen.



Sich teilende Hefezellen schnüren kleine Tochterzellen ab. (Bild: Wikipedia Commons)

Täglich aktuell:

Weitere Informationen über Themen der ETH Zürich aus Wissenschaft, Lehre und Hochschulpolitik finden Sie im Online-Magazin der ETH unter: www.ethlife.ethz.ch

Doppelte Starthilfe

Die ETH betreut Studierende vor, während und nach dem Studium. Der Bereich «Studienorientierung und Coaching» unterstützt angehende Studierende bei der Studienwahl und erleichtert Neueintretenden die erste Studienphase. Das «ETH Career Center» berät Absolventen bei der Karriereplanung und bietet Firmen Zugang zu den ETH-Talenten.

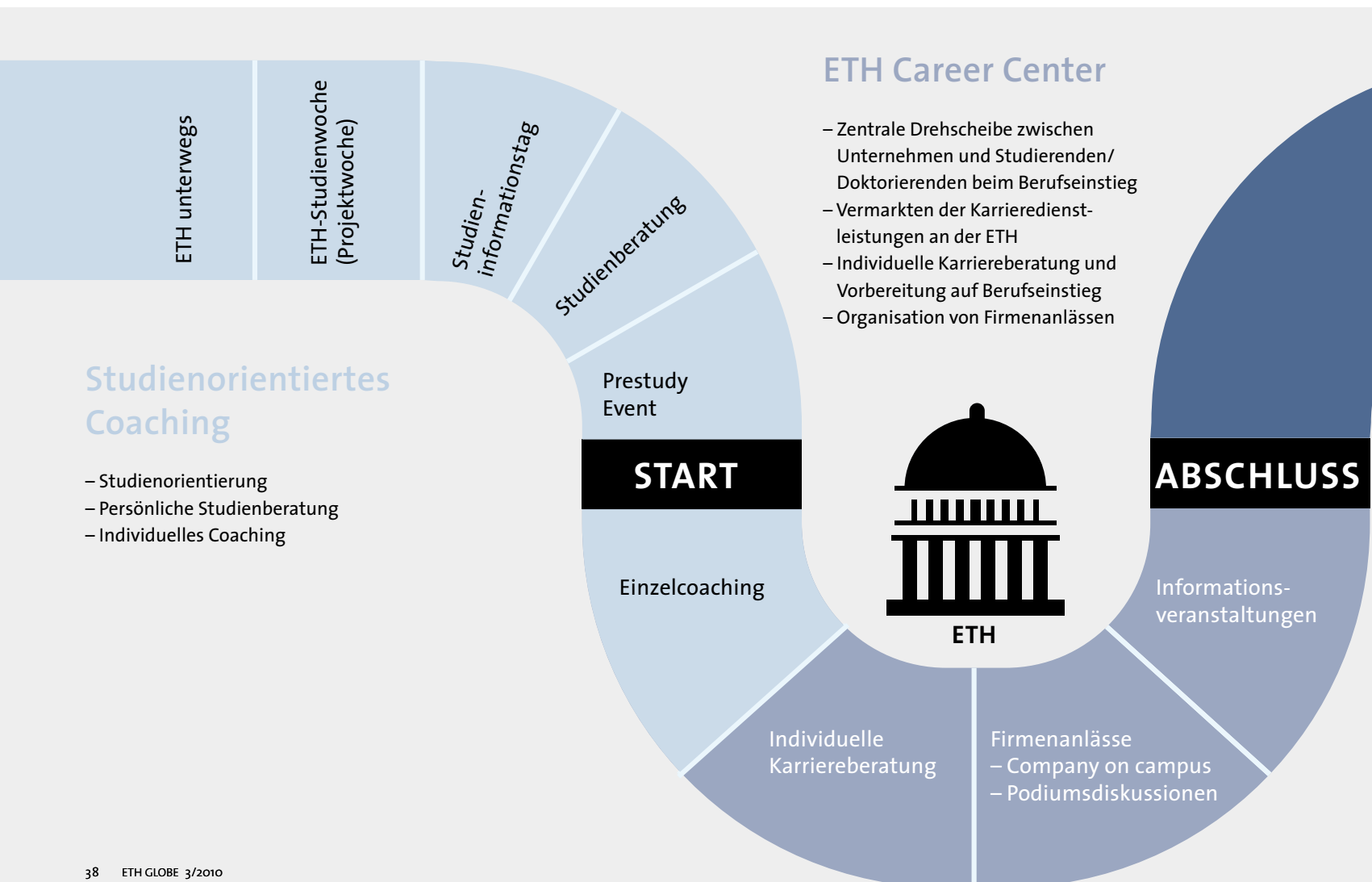
Thomas Langholz

➔ Schon zu seiner Schulzeit kam Physikstudent Urs Meier mit der ETH in Kontakt. Die Wanderausstellung «ETH unterwegs» machte an seiner Kantonsschule im luzernischen Willisau Station. In Referaten und Experimenten zeigten ETH-Professoren und -Studierende, was es heisst, Chemie oder Physik zu studieren. «ETH unterwegs» ist nur eine von vielen Aktivitäten, die die ETH Zürich Studieninteressierten und Studierenden vor, während und nach dem Studium anbietet. Regula Christen leitet den

seit Januar dieses Jahres eingerichteten Bereich «Studienorientierung und Coaching». «Unser Ziel ist es, die Studieninteressierten bei der Studienwahl zu unterstützen und ihnen einen realen Eindruck des Studiums zu vermitteln», sagt Christen. Neben den Mittelschulbesuchen bietet die ETH den Gymnasiastinnen und Gymnasiasten Projektwochen oder die Studieninformationstage für Maturanden an. Dort erhalten sie Informationen über alle 23 ETH-Bachelor-Studiengänge.

Persönliche Beratung

Auch Urs Meier informierte sich dort über den Studiengang Physik. Doch ganz genau wusste er danach noch nicht, was ihn jetzt mehr faszinierte, Physik oder Mathematik. Hier konnte er die von der ETH angebotene Studienberatung nutzen. In einem persönlichen Gespräch erklärte ihm der Studienberater, wo die Unterschiede zwischen beiden Studiengängen liegen. Danach entschied er sich für Physik und immatrikulierte sich an der ETH. Drei Monate vor dem Studienbeginn im September erhielt



er eine Einladung zu einem «Prestudy Event». Dabei lädt die ETH die zukünftigen Studierenden zu einer halbtägigen Veranstaltung ein. Geschätzt wird dabei vor allen die Möglichkeit, sich mit Studierenden des Studiengangs austauschen zu können. Regula Christen erklärt: «Die Fragen reichen dabei von der Wohnsituation bis zum Umgang mit Prüfungen oder ob man bei diesen Lernpensen überhaupt noch in den Ausgang oder jobben gehen könne.» In diesem Jahr wird diese Studienvorbereitung für die Departemente Physik (D-Phys), Bau, Umwelt und Geomatik (D-Baug), Maschinenbau und Verfahrenstechnik (D-Mavt) und Mathematik (D-Math) durchgeführt. Bis 2012 wird dieses Angebot auf alle 16 Departemente erweitert.

Studierende begeistern

In manchen Studiengängen verlassen rund 30 Prozent der Studienanfänger die ETH ohne Abschluss. Lediglich ein Drittel davon, weil sie die

Prüfungen nicht bestanden haben. Mit einer umfassenden Orientierung möchte die ETH sicherstellen, dass die Studieninteressierten schon vorab wissen, was im Studium auf sie zukommt, und bei Fragen während des Studiums professionelle Unterstützung bieten. Ziel ist es, möglichst die «richtigen» Studierenden für ein ETH-Studium zu begeistern.

Während des Studiums unterstützt die ETH ihre Studierenden bei Schwierigkeiten und Unsicherheiten mit einem Coaching. Die Coaches helfen beim Umgang mit Stresssituationen zum Beispiel vor Prüfungen, beim Entwickeln der passenden Lerntechnik oder bei allgemeinen Standortbestimmungen.

«Alle Massnahmen dienen dazu, die Studierenden vor und während des Studiums möglichst umfassend zu orientieren und ihnen den Einstieg an der ETH zu erleichtern. Bei allen Optionen ist jedoch immer die Eigeninitiative der Studierenden gefragt. Es ist nicht so, dass wir sie an der Hand durchs Studium lotsen», betont Regula Christen.

ETH Career Center

Doch auch beim Schritt vom Studium in die Berufswelt unterstützt die ETH ihre Studierenden und Doktorierenden. Ab September bietet das neu gegründete «ETH Career Center» Studierenden und Doktorierenden umfangreiche Informationen und bereitet die Absolventen auf den Berufseinstieg vor. Die Dienstleistungspalette richtet sich auch an Firmen, wie Martin Ghisletti, Leiter Career Center, betont: «Wir bringen die Wirtschaft mit den passenden Absolventen zusammen und bieten den Unternehmen eine Plattform an der ETH.»

Beim Übergang von der ETH in die Berufswelt stellen sich den Absolventen neue Fragen: Möchte er eher eine Fach- oder Führungslaufbahn anstreben? Soll der Berufseinstieg eher in einem Grosskonzern oder in einer KMU erfolgen? Welche Unternehmen kommen in Frage? Mit Hilfe der individuellen Standortbestimmung kann der Absolvent seine Entscheidung treffen. «Es ist nicht unser Ziel, jedem Absolventen, einen Job zu verschaffen. Wichtig ist es, den richtigen Einstieg ins Berufsleben zu finden», sagt Ghisletti.

Berufsvorbereitung

Neben der individuellen Beratung sind umfangreiche Informationen und verschiedene Veranstaltungen geplant. So lernen die ETH-

Absolventen, was sie beim Erstellen eines Bewerbungsdossiers beachten müssen oder was bei einem Vorstellungsgespräch oder Assessment Center zu beachten ist. Firmen haben die Möglichkeit, sich an «Company on Campus»-Anlässen oder an Podiumsdiskussionen den Studierenden zu präsentieren. ETH-Absolventen der jeweiligen Unternehmen stellen die Firma und ihre persönlichen Erfahrungen vor und kommen so in Kontakt mit den Studierenden. Auch können die Firmen Studierende gezielt zu Fach-Workshops einladen. «Das bringt Vorteile für die Studierenden, die ein Unternehmen aus einer besonderen Perspektive kennenlernen, und die Firmen erhalten so Kontakt zu einer ganz gezielten Gruppe der 2000 potenziellen Kandidaten, die jährlich ihr ETH-Studium oder Doktorat abschliessen», ist Ghisletti überzeugt. Zurzeit knüpft Ghisletti Kontakte zu verschiedenen nationalen und internationalen Firmen. «Das Feedback ist sehr gut. Die Unternehmen sind sehr an einer Zusammenarbeit mit dem ETH Career Center interessiert», so der Career-Center-Leiter.

Umfangreiche Betreuung

In der Einheit «Studienorientierung & Coaching» sind alle Aktivitäten und Angebote für Studieninteressierte und Studierende rund um die Schnittstelle Schweizer Mittelschulen – ETH zusammengefasst. Durch die Angebote werden die künftigen Studierenden bei der Studienwahl unterstützt und auf die Realität ihres Studiengangs vorbereitet. Zudem wird ihnen die erste Studienphase erleichtert. → www.soc.ethz.ch

Für fachliche Beratung und administrative Fragen unterstützen die Departemente und das Rektorat.

Das **ETH Career Center** ist die Drehscheibe zwischen Firmen und Absolventen. Darüber hinaus berät es Studierende und Doktorierende umfangreich bei der Karriereplanung. Die Firmen unterstützt das ETH-Career Center, damit diese den Zugang zu den passenden Studierenden haben. → www.careercenter.ethz.ch

Ansprechpartner für Firmen:

Martin Ghisletti

Career Center

Telefon: 044 632 20 44

E-Mail: martin.ghisletti@pa.ethz.ch

Alumni Career Service

Alumni Career Service

- Jobservices
- Career Events
- Mentoring
- Networking

Die bunte Welt der «poly meros»

Hermann Staudingers Polymerforschung wurde einst belächelt. Doch was wäre das Leben heute ohne Kunststoffe? Von saugstarken Babywindeln bis hin zu schnittsicheren Chirurghandschuhen – ihre Einsatzorte sind schier grenzenlos und ihr Potenzial noch lange nicht ausgeschöpft, wie ein Blick in die ETH-Labore verrät.

Catarina Pietschmann

➔ «Lieber Kollege, vergessen Sie doch die Idee von den grossen Molekülen! Reinigen Sie Ihre Produkte, dann werden sie auch kristallisieren und sich als kleine Moleküle erweisen!», schnaubte der spätere Nobelpreisträger Heinrich Wieland 1926. Riesenmoleküle, lange Ketten, zusammengesetzt aus kleinen Molekülen, sollte es geben? Unsinn! Hermann Staudingers Theorien sorgten damals nur für Spott in der Fachwelt. Heute ist ein Leben ohne Polymere, sprich: Kunststoffe, Plastik, nicht mehr vorstellbar.

Seit 1912 lehrte der deutsche Chemiker an der ETH Zürich. Ein vielseitiger Organiker, der unter anderem künstlichen Pfeffer herstellte, das Kaffee Aroma analysierte und Nitroglycerintropfen auf heissen Eisenplatten detonieren liess. 1920 erschien sein Artikel «Über die Polymerisation», worin er beschrieb, wie sich kleine Moleküle über Atombindungen zu hochmolekularen Stoffen verbinden lassen. Und genau das glaubte man ihm nicht. Eine lockere Zusammenballung zu so genannten Mizellen – ja, das war denkbar. Aber über echte chemische Bindungen? Unmöglich! Ein Jahr später verketete Staudinger Isopren zu künstlichem Kautschuk, der aus mehreren Millionen Atomen bestand. «Makromoleküle» nennt er fortan solche Gebilde. Und er vermutet, dass viele Naturstoff-

fe, etwa Cellulose und die Proteine, zu dieser Substanzgruppe gehören. 1926 wechselt Staudinger von Zürich nach Freiburg. Den «spinnerischen» Gedanken nimmt er mit. Er erforscht Cellulose und Stärke, klärt die Faserstruktur von Baumwolle auf. Er findet eine Methode, über die Viskosität die Molmassen von Polymeren zu bestimmen, sowie geeignete Initiatoren, um Polymerkettenreaktionen in Gang zu bringen.

PVC, PET & Co.

Erste Kunststoffe wie Gummi, Nitrocellulose, Celluloid und Bakelit gab es bereits im 19. Jahrhundert. 1930, obwohl Staudingers Theorien noch immer strittig waren, kamen Polystyrol und Polyester auf den Markt. Es folgten Polymethacrylsäureester (Plexiglas), die Polyamide Nylon und Perlon, Polyvinylchlorid (PVC), Hochdruck-Polyethylen (HDPE), die ersten Silikone und und und... 1950 begann mit PVC die Massenproduktion, angetrieben durch die billige und eben erschlossene Kohlenstoffquelle Erdöl. Hinter Abkürzungen wie PE, PET, POM, PP, PS, PUR, SI, UP oder VE steht so ziemlich alles – von der billigen Polyethylen-Plastiktüte bis zu OLEDs, organischen Leuchtdioden im Flachbildschirm. Künstliche Gelenke, Nahtmaterial und Knochennägel für die Medizin, magensäureresistente Tablettenüberzüge, Wandfarben, Haar-

spray, Nagellacke, Auto-, Flugzeug-, Handy- oder Computerteile, Goretex-Kleidung, Teppichböden, Carving-Ski, Tennisschläger bis hin zu Sekundenkleber und Superabsorbent in Babywindeln. Kunststoffe formen, umhüllen, geben Halt in jedem Lebensbereich. Und Sicherheit. Selbst den nächsten Schweizer Banknoten. Sie werden OLEDs enthalten.

Am grundsätzlichen Prinzip der Polymersynthese hat sich seit Staudinger nichts geändert. Polymere – griechisch: «poly meros» (Vielfache eines Teils) – entstehen, wenn sich Einzelmoleküle, die Monomere, durch chemische Reaktion zu langen Ketten verbinden.

Viel verändert hat sich seit Staudingers Zeit dagegen in den Laboren seiner Nachfolger. Das Departement für Materialwissenschaft (DMATL) an der ETH besitzt gleich drei Lehrstühle für Makromolekulares: Polymerchemie (Dieter Schlüter), Polymerphysik (Hans Christian Öttinger) und Polymertechnologie (Paul Smith). Dazu kommen Experten für Oberflächen, Metalle, Kristallografie, Keramik, Biopolymere. Kein Materialaspekt, der sich hier nicht interdisziplinär beleuchten liesse.

Immer wieder neue Eigenschaften

Der Polymer-Baukasten enthält inzwischen Hunderte verschiedener Monomere, «Minia-

1880



1935



1950



tur-LEGO-Steine», die – je nachdem, wie sie miteinander kombiniert, weiterverarbeitet und mit Zusätzen aufgepeppt werden – Kunststoffe mit ganz unterschiedlichen und immer wieder neuen Eigenschaften ergeben: hochsteif, elastisch, lichtemittierend oder stromleitend, transparent und vieles mehr. «Anders als Staudinger können wir die Reaktionen heute gut kontrollieren», betont Dieter Schlüter. «So lässt sich zum Beispiel Polypropylen stereochemisch einheitlich herstellen – etwa isotaktisch.» Betrachtet man einen Teil des Monomers als Wimpel, würden diese beim isotaktischen PP alle in die gleiche Richtung stehen. «Und das führt zu völlig anderen Eigenschaften als beim ataktischen: Aus Ersterem macht man Autotüren, aus dem anderen Schmelzkleber, Kaugummi oder man verbrennt es – als Grillanzünder-Würfel.» Etliche Polymere von ETH-Forschern werden inzwischen erfolgreich eingesetzt. Piero Pinos erfand das isotaktische PP. Paul Smith entwickelte höchstkristalline geordnete Polyethylen-Fasern, mit der heute jeder Tennisschläger bespannt ist. Schnittsichere Chirurgenhandschuhe und Kugelschutzwesten werden ebenfalls daraus hergestellt.

Polymerchemiker Ulrich Suter, Schlüters Vorgänger, hat unter anderem bioabbaubare Polymere für die Medizin erforscht. Etwa Polyesterurethane, bei denen sich – je nach Reaktionsbedingung – Steifigkeit und Abbaugeschwindigkeit im Körper einstellen lassen. Feinste Röhrchen werden daraus gemacht, gefüllt mit Hydrogel und Wachstumsfaktoren, in die bei Unfällen durchtrennte Nervenenden eingefädelt werden, damit sie wieder zusammenwachsen. Auf Gerüsten aus Polymeren von Hydroxybuttersäure und Glykolsäure werden bald menschliche Endothel- und Bindegewebszellen wachsen, um defekte Herzklappen zu ersetzen. Innerhalb eines Jahres nach Implantation baut sich deren Kunststoffskelett dann ab. Nanoverbundstoffe aus Polymeren

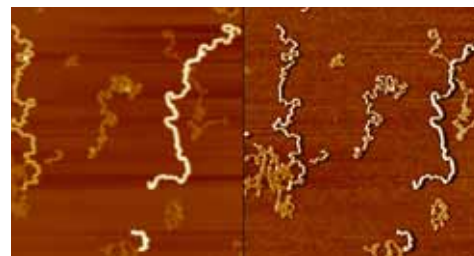
und Schichtsilikaten wie Glimmer sind eines der vielen weiteren Themen des D-MATL. «Wenn man von etwas nur fünf Stück braucht, kann man es auch aus Gold, Stahl oder Bronze machen», sagt Suter, «aber bei einer Million Stück ist Kunststoff ökonomisch unschlagbar.» Und so ersetzen diese Stoffe bereits in vielen Bereichen teure, schwere Metalle, etwa im Auto.

Universelle Knospen

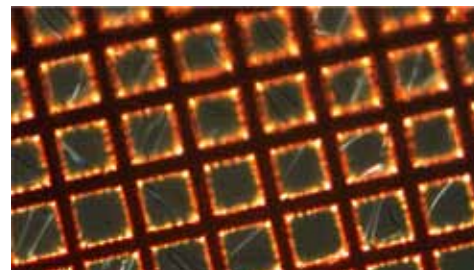
Dieter Schlüter ist als Grundlagenforscher weiter weg von der Anwendung. Auf seiner polymeren Spielwiese stehen unter anderem Dendrimere, «Baumteilchen», auf deren langem Polymerrückgrat «Triebe» sitzen, die sich bei jedem Reaktionsschritt weiter verzweigen. Am Ende steht ein Riesenmolekül, ein kurzes Spaghetti. An ihm sitzen 117 000 Aminogruppen – für den Chemiker universelle «Knospen», ein bis zwei Mikrometer lang, mit denen sich fast beliebig Chemie betreiben lässt.

Schlüters neuester Coup sind 2D-Polymere. Keine Ketten, sondern Blättchen. Genau ein Molekül «dick» – 1000-mal dünner als Klarsichtfolie. Sie entstehen durch Bestrahlung winziger kristalliner Monomerblöcke, die dabei in Schichten polymerisieren, die dann durch ein Lösungsmittel abgerollt werden. Was bitte könnte man damit machen? Schlüter lacht. «Zum Beispiel Siebe für den Subnanometerbereich.» Das hauchdünne Gespinnst kann definierte Poren haben, die nur sehr kleine Moleküle durchlassen. «Oder «molecular landscaping»: Man könnte alle 27 Nanometer ein Proteinbäumchen pflanzen, alle 54 einen Goldnanocluster.» Oberflächen strukturieren und funktionalisieren wird hier in einer neuen Dimension möglich.

Was wird in der Zukunft kommen? Ulrich Suter würde in seinem nächsten Leben die anorganischen Polymere angehen. Denn mit dem grössten Teil des Periodensystems hat sich die makromolekulare Chemie noch kaum beschäftigt.



Oben: Atomkraftmikroskopie-Aufnahme von Dendrimeren, «Baumteilchen», auf deren Polymerrückgrat «Triebe» sitzen, die sich bei jedem Reaktionsschritt weiter verzweigen. Das Ergebnis sind unterschiedlich dicke Riesenmoleküle. (Bild: ETH Zürich)



Unten: Lichtmikroskopische Aufnahme eines Kupfernetzchens mit 20 x 20 Mikrometer feinen Löchern. Der darüber gespannte Polymerfilm ist 1000-mal dünner als Klarsichtfolie und dient als Nano-Sieb. (Bild: P. Kissel, J. Sakamoto, A.D. Schlüter)

Und Schlüter? Er träumt vom 3D-Polymer, sieht aber bisher keinen Weg dorthin.

Hermann Staudinger hat – welche Genugtuung – den Boom der Polymere miterlebt. Er starb 1965. Für seine Arbeiten über Makromoleküle erhielt er 1953 den Nobelpreis. Ein Jahr später beschreiben Watson und Crick den Aufbau der DNA – eines der grössten natürlichen Makromoleküle überhaupt.

→ www.polychem.mat.ethz.ch

→ www.polyphys.mat.ethz.ch

→ www.polytech.mat.ethz.ch

1960



1990



Von der Schallplatte über den Nylonstrumpf bis hin zur modernen Prothese – Kunststoffe begleiten uns durchs ganze Leben. Die ersten gab es bereits im 19. Jahrhundert. 1950 begann dann mit PVC die Massenproduktion, angetrieben durch die billige und eben erschlossene Kohlenstoffquelle Erdöl. (Bilder: istockphoto)

Von der Natur inspiriert: Der Bioingenieur Kobi Benenson designt Gene, die in menschlichen Zellen winzige molekulare Computer «bauen», die eines Tages Krankheiten erkennen und heilen könnten.
(Foto: Tom Kawara)



Der Traum vom Zell-Computer

Mit Yaakov Benenson hat die ETH Zürich einen der Pioniere auf dem Gebiet der molekularen Computer rekrutiert. Mit Hilfe seiner Forschungsergebnisse könnten winzigste Biorechner eines Tages in menschliche Körperzellen injiziert werden und dort gezielt Krebszellen aufspüren und Medikamente freisetzen.

Christine Heidemann

→ Yaakov Benenson war zunächst skeptisch. Sollte es wirklich möglich sein, einen aus Molekülen bestehenden Computer zu entwickeln, der im Inneren einer menschlichen Körperzelle existieren, dort Stoffe erkennen und entsprechend diesen Erkenntnissen reagieren kann? «Als ich von Ehud Shapiros Idee hörte, habe ich zunächst gedacht, das wird nie klappen», erinnert sich der Bioingenieur an jene Zeit vor elf Jahren.

Damals, nach seinem mit mehreren Auszeichnungen bestandenen Abschluss am renommierten Technion im israelischen Haifa, suchte der heute 34jährige Yaakov oder kurz Kobi Benenson, wie er sich nennt, nach einer spannenden neuen Herausforderung – und stiess im Internet auf eine Präsentation von Ehud Shapiro, Mathematiker und Computerwissenschaftler am Weizmann-Institut im israelischen Rehovot. Darin formulierte Shapiro die Überlegung, dass es doch möglich sein müsse, das Prinzip der «universellen Turing-Maschine», eines mathematischen Modells, nach dem quasi alle heutigen programmgesteuerten Rechner funktionieren, auch auf die Zellbiologie zu übertragen. Solche molekulare Maschinen aus DNS, RNS und Proteinen, so seine Idee, könnten dann eines Tages als winzige Diagnoseautomaten etwa in der Medizin eingesetzt werden. Ihr «Input» wären gewisse Substanzen, auf die sie in einer Körperzelle treffen; ihr «Output» wäre zum Beispiel ein Medikament, das die Biocomputer gezielt dann freisetzen, wenn sie eine Zelle anhand des Inputs als krank erkennen.

Angespornt von dieser Idee, grübelte Kobi Benenson über mögliche Lösungen nach, entschied schliesslich, dass es doch machbar sein könne, nahm mit Ehud Shapiro Kontakt auf – und bekam als sein Doktorand im Jahre 2000 die Aufgabe, einen solchen molekularen Computer zu bauen. Nach endlosen durchforschten Tagen und Nächten im Labor stellte er 2001

die erste Arbeitsversion des Nanorechners vor – mit durchschlagender Resonanz: Es folgten Veröffentlichungen in renommierten Magazinen wie Nature und PNAS – und ein Eintrag ins Guinness-Buch: für den kleinsten biologischen Computer der Welt.

Die Entscheidung fiel leicht

Seit Juni dieses Jahres ist der sympathische und eher wie ein Student denn Dozent wirkende Forscher als Assistenzprofessor am Department Biosysteme (D-B SSE) der ETH Zürich in Basel tätig. Noch ist sein Büro fast leer. Lediglich ein Computer und ein Regal mit einigen Büchern sowie Fotos seiner Frau und seines 20 Monate alten Sohns zeugen davon, dass hier bereits jemand eingezogen ist. «Als ich das Angebot von der ETH bekam, hatte ich nicht zwei Mal überlegen müssen. Die Bedingungen sind einfach optimal», sagt Kobi Benenson.

Und mit diesen Bedingungen meint der im russischen Jekaterinburg geborene und in Tel Aviv aufgewachsene Forscher vor allem das am D-B SSE gebündelte interdisziplinäre Know-how aus Natur- und Ingenieurwissenschaften – eine einzigartige Kombination, mit deren Hilfe Kobi Benenson «die grundlegenden Prinzipien der Informationsprozesse in lebenden Systemen noch besser verstehen» und seine Biorechner weiter voran, nämlich in den menschlichen Körper, bringen möchte.

Bisher können seine Computer «nur» in Kulturen menschlicher Zellen «rechnen». Aber auch das ist schon ein enormer Fortschritt zu seinen ersten unter Ehud Shapiro gebauten molekularen Automaten im Reagenzglas. Diese am Weizmann-Institut entwickelte Originalversion der winzigen Rechenmaschinen – unglaubliche eine Billion von ihnen passen in einen Wassertropfen und können dort Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde durchführen – konnten lediglich überprüfen, ob eine Zahl von

Molekülstückchen gerade oder ungerade ist. Dabei arbeiteten Benenson und Shapiro mit Strängen der Erbsubstanz DNS und benutzten deren vier Basen Adenin, Thymin, Cytosin und Guanin, um sowohl die Eingabe-Daten als auch die Regeln für das Computerprogramm festzuschreiben.

Die DNS-Moleküle dienten somit als Software. Als Hardware verwendeten die Forscher zwei Enzyme, welche die DNS-Moleküle je nach Programmierung an bestimmten Stellen zusammenfügten oder aufbrachen. Dadurch veränderte sich die Basenabfolge immer wieder, was mit dem Ergebnis einer mehrmaligen Rechenoperation zu vergleichen ist. Das Resultat konnten die Wissenschaftler schliesslich ablesen, indem sie das Ergebnis-DNS-Stück mit einem bestimmten Ausgabe-DNS-Stück kombinierten und das dadurch entstehende Molekül sichtbar machten.

Hunderte Möglichkeiten ausprobiert

«Es war Glück und Zufall, dass wir die Lösung für den Bau eines solchen Computers gefunden haben», erinnert sich Kobi Benenson in seiner ruhigen, zurückhaltenden Art. «Wir haben Hunderte verschiedener Möglichkeiten ausprobiert, bis wir schliesslich die vermutlich einzige existierende Lösung entdeckt hatten.»

2003 stellten die beiden Wissenschaftler dann bereits eine verbesserte Version ihres Biocomputers vor: einen völlig autark arbeitenden Nanorechner, der seine Input-DNS-Moleküle als einzige Energiequelle nutzt. «Das brachte uns den Eintrag ins Guinness-Buch.»

Ebenfalls am Weizmann-Institut nahm Kobi Benenson 2004 den nächsten Schritt in Angriff: die winzigen Rechenautomaten tatsächlich als «Mini-Ärzte» einzusetzen. In einer Serie von Reagenzglas-Experimenten programmierte er seine Biocomputer so, dass die vorderen Abschnitte der DNS-Input-Moleküle in der Lage

waren, entartete Zellen anhand der Konzentration von vier RNS-Molekülen zu identifizieren, die für Lungen- und Prostatakrebs charakteristisch sind. Sind die Konzentrationen aller vier Moleküle zu hoch, ist also eine Krebserkrankung wahrscheinlich, wird am hinteren Ende der DNS-Moleküle ein Stück abgespalten: das Medikament, das die Krebszellen zerstören soll.

Der Weg nach Harvard

Insgesamt verbrachte Kobi Benenson fünf Jahre im Labor von Ehud Shapiro. «Eine aufregende Zeit», so der heutige ETH-Assistenzprofessor. Danach galt es für den ambitionierten und mittlerweile über die Grenzen Israels hinaus bekannten Forscher, eine geeignete Stelle zu finden. «Ich wünschte mir eine unabhängige Position, wo ich als Gruppenleiter eines kleinen Labors weiterforschen konnte, ohne unterrichten zu müssen.» Fündig wurde er schliesslich an der Harvard University in Cambridge, als «Bauer Fellow» am «FAS Center for Systems Biology».

Dort konnte er 2007 mit seinem Team und Forschern von der Princeton University um Ron Weiss dann zeigen, dass die Biorechner auch in Kulturen menschlicher Nierenzellen funktionieren. Dazu nutzten sie eine Technik, die auf der Fähigkeit der menschlichen Zellen basiert, die gewünschten Biocomputer in Form von RNS und Proteinen selbst aus Genen herzustellen. Die Forscher müssen ihnen dafür lediglich, analog zur Natur, die genetische Bauanleitung liefern. «Wir designen die Gene im Labor und gaukeln der Zelle vor, es seien ihre eigenen. Daraufhin produzieren die Gene anhand des von uns vorgegebenen genetischen Codes die Rechenmoleküle», beschreibt Benenson das Vorgehen.

Allerdings könnten auf diese Weise nur RNS-Moleküle oder Proteine hergestellt werden, jedoch keine DNS-Moleküle, auf denen die bisherigen Biocomputer basieren. Die Herausforderung, das beste Design zu finden, damit das System auch im menschlichen Körper präzise funktioniert, sei daher gross.

Präzision ist das oberste Ziel

Überhaupt sei Präzision das A und O beim Einsatz in der Krebserkennung und -behandlung. «Wir wollen 100 Prozent nur die krankhaften

Zellen erreichen und keine gesunden zerstören.» Daher sollen die winzigen Computer so viele Symptome wie möglich erkennen. «Wir hoffen, eines Tages vielleicht zehn identifizieren zu können.» Zum Vergleich: Heute im Einsatz befindliche Chemotherapien können keine spezifischen Merkmale identifizieren, sondern zerstören alle sich schnell teilenden Zellen.

Wann die kleinen Doktoren im menschlichen Körper zum Einsatz kommen werden, kann Kobi Benenson noch nicht vorhersagen. «Wir nähern uns Schritt für Schritt, Symptom für Symptom.» Aber wenn man sehe, welchen Fortschritt die synthetische Biologie in den letzten zehn Jahren gemacht habe, sei das schon beeindruckend, erklärt der junge Forscher nachdenklich – so, als ob er schon den nächsten Coup in Sachen Bio-Computing im Kopf habe. Schliesslich liesse sich mithilfe der Nanoautomaten zum Beispiel auch neues Gewebe züchten. «Es werden noch viele Experimente und Diskussionen notwendig sein.» Aber bei so viel geballtem Wissen wie am D-BSSE habe er keine Bedenken, dass es auch weiterhin schnell vorangehe.

«Man braucht Durchhaltevermögen, muss fest an eine Sache glauben, aber auch wissen, wann es Zeit ist, aufzuhören und in eine andere Richtung weiterzudenken.» Ansonsten zeichne er sich nicht durch besondere Eigenschaften aus, versichert der junge Professor bescheiden. Als Nächstes möchte er erst einmal ein neues Team aufbauen – und seine neue Heimat Basel näher kennenlernen. «Meine Frau, die ursprünglich aus China stammt, ist schon gespannt auf die chinesischen Restaurants.» Und seine Familie in Israel kann Kobi Benenson nun auch öfter sehen. Schliesslich ist der Flug nicht ganz so lang wie von Massachusetts aus. Denn Biocomputer sind natürlich nicht alles im Leben des Kobi Benenson. Auch wenn die Fachwelt künftig sicherlich noch Einiges von dem neuen «Überflieger» an der ETH Zürich hören wird.

→ www.bsse.ethz.ch



Zur Person

Yaakov Benenson studierte Chemie und Biochemie am Technion, der Technischen Universität Israels, in Haifa. Unterstützt durch ein Hochbegabten-Stipendium, schloss er sein Masterstudium mit mehreren Auszeichnungen ab und ging Anfang 2000 ans renommierte Weizmann-Institut im israelischen Rehovot. Als Doktorand unter Ehud Shapiro entwickelte er seine ersten molekularen Computer. 2005 erhielt er die Doktorwürde und wechselte ans «FAS Center for Systems Biology» der University of Harvard in Cambridge im US-Bundesstaat Massachusetts. Dort leitete er als «Bauer Fellow» eine eigene kleine Forschungsgruppe, mit der er erstmals zeigen konnte, dass seine Biocomputer nicht nur im Reagenzglas, sondern auch in menschlichen Zellkulturen arbeiten können. Seit Juni 2010 ist Kobi Benenson Assistenzprofessor am Departement Biosysteme (D-BSSE) der ETH Zürich in Basel.

Was sind «Pioneer Grants», Herr Siegwart?

Interview: Thomas Langholz

Roland Siegwart: Aus der Forschung heraus entstehen neue spannende Erkenntnisse, die aber noch weit weg sind von einem praktischen Einsatz in der Industrie. Bis anhin gab es intern keine Forschungsförderung, die diese Umsetzung unterstützte. Das neue Stipendium Pioneer Grants schliesst jetzt diese Lücke an der ETH Zürich.

Es gibt schon verschiedene Instrumente zur Forschungsförderung. Welche Aufgabe haben dabei die neuen Pioneer Grants?

Eine der strategischen Aufgaben der ETH ist es, neue Erkenntnisse der Grundlagenforschung in Marktideen umzusetzen und so den Technologietransfer von der Forschung in die Wirtschaft sicherzustellen. Der Schweizerische Nationalfonds fördert vor allem Grundlagenforschung. Auf der anderen Seite steht die Förderagentur für Innovation des Bundes, KTI. Ihre Aufgabe ist es, Projekte zu fördern, um möglichst schnell ein Produkt auf den Markt zu bringen. Die Machbarkeit einer neuen Technologie wurde hierzu vorab geklärt. Die Pioneer Grants unterstützen jetzt den Weg von der ersten Idee bis zur Machbarkeitsprüfung.

Wer wird gefördert und wie hoch ist die Förderung?

Wir unterstützen Doktorats- und Master-Absolventen der ETH Zürich. Bedingung ist, dass deren bisherige Forschungsarbeit eine neue Erkenntnis hervorgebracht hat, die das Potenzial für eine neue technische Lösung hat. Pro Jahr sollen zwischen acht und zehn Projekte gefördert werden. Die maximale Förderung beträgt 150 000 Franken pro Projekt.

Welche Art von Projekten wird gefördert?

Dies könnte zum Beispiel eine neue Oberflächenbeschichtung sein, die homogener und abriebfester ist und in sehr feinen Schichten hergestellt werden kann. Diese Technologie kann in vielen Bereichen eingesetzt werden,

aber nach dem Abschluss der Master- oder Doktorarbeit ist noch nicht klar, wo diese liegen. Der nächste Schritt, und hier setzt der Pioneer Grant an, könnte sein, dass untersucht wird, auf welchen Materialien sich die Schicht aufbringen lässt und in welchem Industriebereich die neue Technik eingesetzt werden könnte.

Solche Instrumente kosten Geld. Wie wird das Programm finanziert und wie lange werden die Wissenschaftler unterstützt?

Zwischen zwölf und 18 Monaten, das hängt vom jeweiligen Projekt ab. Die Unterstützung ist als Anschubfinanzierung gedacht. Die nächsten Schritte sollen anschliessend mit einem Partner aus der Industrie umgesetzt werden. Es kann aber auch sein, dass sich daraus ein Spin-off entwickelt. Finanziert wird das Projekt in der Pilotphase mit Unterstützung der ETH Zürich Foundation und mit Mitteln des internen ETH-Forschungsbudgets ergänzt. Interessierte Firmen, die die Pioneer Grants unterstützen möchten, können sich an die ETH Zürich Foundation wenden.

Eine Jury beurteilt die eingereichten Projekte. Nach welchen Kriterien?

Die Auswahlkriterien umfassen die wirtschaftliche Attraktivität und Realisierbarkeit, die Qualität der zugrundeliegenden Forschungsarbeit und die persönliche Eignung der Antragsteller. Kriterien der Nachhaltigkeit und der gesellschaftlichen und umweltpolitischen Relevanz werden ebenfalls berücksichtigt. Mitglieder des Auswahlgremiums sind Vertreter der Forschungskommission, Vertreter von ETH transfer, Industrievertreter sowie ich selbst.



Roland Siegwart, Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen der ETH Zürich.

ETH-Forschungsförderung

Neben der staatlichen Förderung des Schweizerischen Nationalfonds und der Förderagentur für Innovation des Bundes, KTI, verfügt die ETH seit 1974 über eigene Instrumente zur Forschungsförderung.

Mit dem ETH-Fellowship-Programm können Postdoktoranden aus aller Welt ihre Forschung an der ETH durchführen. Die interne Forschungsförderung unterstützt vor allem Projekte in der Grundlagenforschung. Mit unterschiedlichen Instrumenten, wie zum Beispiel den «ETH Independent Investigators' Research Awards» oder den «Collaborative Highly Interdisciplinary Research Projects» werden insbesondere innovative interdisziplinäre Projekte gefördert.

Weitere Informationen:

«Pioneer Grants»

→ www.ethglobe.ethz.ch/pioneergrants

Die Technologietransferstelle:

ETH transfer

→ www.vpf.ethz.ch/transfer

Interessenten, die die «Pioneer Grants» unterstützen wollen, wenden sich bitte an: ETH Zürich Foundation, Donald E. Tillman, E-Mail: Donald.Tillman@ethz-foundation.ch Telefon: 044 633 69 62

Volltreffer für die Forschung

Die medizintechnische Forschung an der ETH Zürich wird dank einer Donation des Weltfussballverbands Fifa an die ETH Zürich Foundation mit einer weiteren Professur verstärkt. Der neue Lehrstuhl wird nach neuen Wegen suchen, um Knorpelschäden frühzeitig zu behandeln. Dies könnte die Lebensqualität vieler Menschen markant verbessern.

Felix Würsten

→ Der Standort Zürich gilt schon heute als international wichtiges Zentrum für Medizintechnik. Die ETH Zürich hat kürzlich mit der Lancierung der Initiative «Medizintechnik und Gesundheit» gezeigt, dass sie diesem Forschungsfeld grosse Bedeutung beimisst und es ausbauen will. Nachdem im Frühjahr eine Professur für Orthopädische Technologien im Alter ausgeschrieben werden konnte, kann die Hochschule nun dank einer Donation des Weltfussballverbands Fifa an die ETH Zürich Foundation eine weitere Professur in Medizintechnik einrichten. Diese wird sich schwergewichtig mit der Erkennung und Regeneration von Knorpelschäden befassen. Mit einer Summe von jährlich 500 000 Franken über eine Zeitdauer von zehn Jahren wird nicht nur die Professur selbst finanziert, sondern es werden unter anderem auch Forschungsprojekte unterstützt, welche die ETH Zürich auch gemeinsam mit der Schulthess Klinik und dem mit ihr verbundenen «Fifa Medical Assessment and Research Centre» (F-MARC) durchführen wird.

Kaum erforschte Abnutzung des Knorpels

Verschleisserkrankungen des Bewegungssystems stellen eines der gesellschaftlich gesehen wichtigsten medizinischen Probleme dar, denn diese Abnutzungen führen zu ernsthaften Spätfolgen. Insbesondere die Gründe für den Abbau des Knorpelgewebes an den Gelenken sind jedoch immer noch wenig erforscht und stellen daher für die Behandlung im klinischen Alltag eine grosse Herausforderung dar. «Knorpel ist ein schwach durchblutetes Weichgewebe, das über Jahrzehnte jeden Stoss abdämpft und somit schmerzfreie Bewegungen zulässt», erklärt Viola Vogel, Professorin für Biologisch-Orientierte Materialwissenschaften an der ETH Zürich. «Übermässige Belastungen können zu Schäden führen, die nie mehr von selbst ausheilen.»

Aus medizinischer Sicht wäre es günstig, wenn Knorpelschäden möglichst früh behandelt werden könnten. Damit liesse sich die Bildung von Früharthrose zumindest verzögern. «Patienten, die an schwerer Arthrose leiden, setzt man heute in der Regel ein künstliches Gelenk

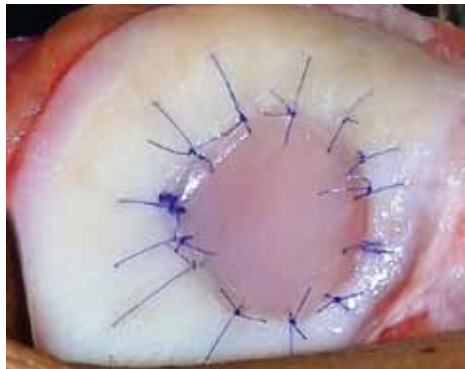
ein», erklärt Jiri Dvorak, Professor für Neurologie an der Schulthess Klinik und Chefarzt der Fifa. «Allerdings ist die Lebensdauer eines solchen künstlichen Gelenks limitiert.» Wenn man einem Fünfzigjährigen, der an Früharthrose leidet, bereits ein Gelenk einbauen muss, das im Schnitt 15 bis 20 Jahre hält, ist dies nicht optimal. Denn aufgrund der heutigen Lebenserwartung muss man damit rechnen, dass dieses Gelenk später einmal oder gar zweimal ersetzt werden muss. «Wenn es uns gelänge, Knorpelschäden frühzeitig zu erkennen und zu behandeln, könnten wir den Zeitpunkt, an dem ein künstliches Gelenk implantiert werden muss, nach hinten verschieben und damit die längerfristigen Perspektiven der Patienten verbessern», erläutert Jiri Dvorak.

Regeneration ist sehr aufwendig

Tatsächlich gibt es bereits verschiedene konservative und operative Behandlungsmöglichkeiten für Knorpelschäden, wie sie bereits im Zentrum für Orthobiologie und Knorpelregeneration unter der Leitung von Matthias Steinwachs an der Schulthess Klinik etabliert sind. Eine Regeneration des Knorpels ist heute allerdings noch sehr aufwändig und kommt daher meist nur bei grösseren Schäden in Frage. Dabei züchtet man aus körpereigenem Material im Reagenzglas Knorpel, der dann wieder implantiert wird. Das sei gerade bei Sportlern ein unbefriedigender Weg, erklärt Jiri Dvorak: «Wenn ein Sportler zum Beispiel nach einer Stauchung einen Knorpeldefekt erleidet, müsste er für eine Knorpeltransplantation eine Behandlungszeit von einem halben Jahr in Kauf nehmen. Deshalb ziehen die meisten eine medikamentöse Behandlung vor, welche das Problem kurzfristig überbrückt.» Der Preis sei allerdings, dass damit der Schaden nicht behoben werde



ETH-Professorin Viola Vogel, ETH-Präsident Ralph Eichler, Fifa-Präsident Joseph S. Blatter und Fifa-Chefarzt Jiri Dvorak (v. l.) freuen sich über die Zusammenarbeit. (Bild: Fifa)



Mit Knorpelzellen des Patienten beladenes Biomaterial in einem Knorpeldefekt an der Kniescheibe. (Bild: Matthias Steinwachs/Schulthess Klinik)

und das Risiko einer Früharthrose stark ansteige. «In den vergangenen Jahrzehnten hat man sich darauf konzentriert, beschädigtes Knorpelgewebe zu entfernen oder durch künstliche Materialien zu ersetzen», erklärt Viola Vogel. «In der Biologie wurden jedoch in jüngster Zeit grosse Fortschritte gemacht, um die physiologischen Prozesse in Weichgeweben auf zellulärer und molekularer Ebene viel besser zu beschreiben.» Das Ziel der neuen Professur sei es nun, Methoden zu entwickeln, mit denen die Regeneration von Knorpelgewebe initiiert oder beschleunigt werden könnte.

Ideal wäre, wenn es der Forschung gelingen würde, eine In-vivo-Regeneration des Knorpels zu ermöglichen. Wie dieser Weg aussehen soll, ist allerdings noch offen, erklärt Jiri Dvorak. «Wir wissen noch nicht, ob eine solche In-vivo-Regeneration überhaupt möglich ist. Wir müssen noch viel Grundlagenarbeit leisten.» Gelingen das Vorhaben, wäre es ein sensationeller Durchbruch: «Eine solche Behandlung, die auch bei kleineren Schäden in Frage käme, wäre für die Allgemeinheit ein grosser Segen. Denn wenn die Mobilität im Alter wegen Arthrose eingeschränkt ist, stellt dies für die Betroffenen eine grosse Beeinträchtigung dar.» Dabei, so hält Jiri Dvorak fest, gehe es nicht nur darum, Sportler wieder schneller fit zu kriegen.

«Auch Nichtsportler erleiden sehr häufig Knorpeldefekte und sind daher auch immer wieder von Früharthrose betroffen.»

Engagement mit Pioniercharakter

Die neue Professur soll sich aber nicht nur mit der Regeneration von Knorpelschäden befassen, sondern auch mit der Früherkennung. «Auch in diesem Bereich erhoffen wir uns positive Effekte aus der Zusammenarbeit mit der ETH Zürich, beispielsweise im Bereich medizinische Bildgebung», meint Jiri Dvorak. «Und wir hoffen natürlich, dass es Synergien mit der neuen Professur für Orthopädische Technologien im Alter gibt, welche eng mit der Schulthess Klinik zusammenarbeiten wird.»

Das Engagement der Fifa habe Pioniercharakter, ist Jiri Dvorak überzeugt. «Seit fast 20 Jahren engagiert sich der Weltfussballverband in der medizinischen Grundlagenforschung, und die Resultate dieser Bemühungen kommen auch der Allgemeinheit zugute.» Die Finanzierung einer neuen Professur an der ETH Zürich stellt nun eine wichtige strategische Weichenstellung dar. «Ich hoffe, dass dieses Engagement eine Signalwirkung hat und auch andere internationale Sportverbände ermutigt, sich verstärkt für die Grundlagenforschung einzusetzen.»

Initiative «Medizintechnik und Gesundheit»

Mit der strategischen Initiative «Medizintechnik und Gesundheit» möchte die ETH Zürich die wissenschaftlichen Aktivitäten mit rund sechs neuen Professuren und Laboren entscheidend stärken. Die Initiative, welche die ETH Zürich in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich Foundation umgesetzt, ergänzt Massnahmen der letzten Jahre: So wurde 2005 das Kompetenzzentrum für Biomedizinische Technik (Bioengineering Cluster, kurz BEC) formiert. Inzwischen sind dem BEC rund 40 Professorinnen und Professoren aus sieben Departementen sowie aus der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich angegliedert.

Ab 2012 werden Lehre und Forschung im neuen Departement «Health Sciences and Technology» in diesem zukunftsträchtigen Gebiet weiter verstärkt.

Weitere Auskünfte:

→ www.ethz-foundation.ch



Effiziente Gebäude per Tastendruck

Ob Multimedia, Licht, Rollläden, Klima oder Sicherheit – mivune bringt alle Systeme in einem Gebäude unter einen Hut und bietet mehr Komfort beim Wohnen und Arbeiten bei geringerem Energieverbrauch.

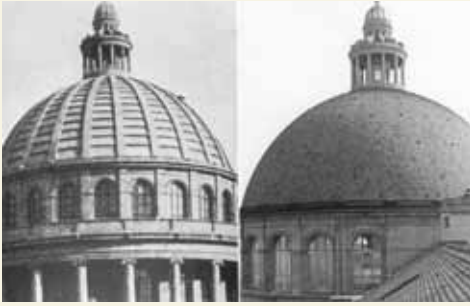
Kampf um die Kuppel

Heute ist die Kuppel des Hauptgebäudes das Erkennungszeichen der ETH. Doch bis zu ihrer Fertigstellung in den 1920er Jahren sollte es ein langer Weg sein. Die Kritiker sahen den Semper-Bau verschandelt und forderten ihren Abriss.

Thomas Langholz



1915 begann der An- und Umbau des Hauptgebäudes. Hier wird die Kuppel im Jahr 1918 eingerichtet. Der Schlussstein der Kuppellaterne wurde am 19. April 1919 gesetzt. (Fotos: Bildarchiv/Bibliothek ETH Zürich)



1



2

Kuppeln signalisierten seit jeher politische Macht. Als sichtbares Zeichen zeugen sie von der Macht ihrer Erbauer, diese architektonisch herausfordernden Gebäude erschaffen zu können. Ob das Pantheon oder der Petersdom in Rom oder das Kapitol in Washington – jedes dieser Gebäude war zu seiner Zeit heftig umstritten.

Auch der Bau der ETH-Kuppel in den 1920er Jahren reiht sich in die Tradition dieser Bauten ein. Schon wenige Jahre nach ihrer Gründung 1855 platzte die ETH aus allen Nähten. Auch der Auszug der Universität 1914 brachte nicht den benötigten Platz. Daher beschloss der Bundesrat, das von Semper erstellte Hauptgebäude zu erweitern. Hierzu schrieb er 1909 einen Architekturwettbewerb aus¹. Die Architekten waren sich der besonderen Aufgabe bewusst, den Semper-Bau zu erweitern, trugen die Entwürfe doch illustre Titel wie «Heron», «Faust», «Monument der Arbeit» oder gar «Fürs Polytechnikum, o du mon Dieu, mon Dieu, plagt man sich steif und krumm, o du mon Dieu»². Zum Sieger kürte die Jury den Entwurf des ETH-Professors und früheren Staatsbauinspektors Gustav Gull – und das obwohl Gull einen Teil seiner Pläne zu spät eingereicht hatte².

Neue Ausrichtung

In seinen Plänen erweiterte er das Hauptgebäude durch zwei Flügel und einen zweibündigen Trakt mit zentraler Rotunde und einer viergeschossigen Halle in Richtung Rämistrasse. Der neue An- und Umbau war insoweit revolutionär, da er die ursprüngliche Ausrichtung von Semper zur Stadt nun umkehrte – hin zum neuen Hochschulquartier am Zürichberg. Mit entscheidend war auch der von Karl Moser bis 1914 errichtete Bau der Universität mit einem weithin sichtbaren Turm. Die Schweizerische Bauzeitung bezichtigte die ETH in einem Artikel, dass sie die Kuppel nur baue, um «hinter dem mittlerweile entstandenen hochragenden Aufbau der neuen Universität nicht zurückzubleiben»³. Die Um- und Neubauten dauerten bis 1922 und kosteten 16 Millionen Franken.

Doch mit Beginn der Bauarbeiten steigerte sich auch die Kritik an der von Gull vorgeschla-

genen Kuppel. Der Heimatschutz kritisierte den Neubau scharf: «Eine Kuppel, die von hinten über das Hauptgebäude herausguckt, aber leider nicht mehr verschwindet, sondern, ohne diese wirklich zu überragen, in halb gedrückter Stellung, von der Stadt aus gesehen, an sich keine gute Wirkung ausmacht und nur diejenige des edlen, einfachen, grossen Semper-Baus beeinträchtigt»³. Der Heimatschutz fragte bei der Eidgenössischen Baudirektion an, ob die Kuppel nicht zugunsten eines Zeltdaches abgerissen werden könnte. Auch die «Gesellschaft ehemaliger Studierender des eidgenössischen Polytechnikums G.E.P.» beschwerte sich 1920 beim Schulrat über die «baukünstlerische Schädigung des alten Semper-Baus»⁴. Grundlegende Kritik bestand auch gegenüber der Grösse der Kuppel. Im ursprünglichen Entwurf von Gull im Jahr 1909 war lediglich ein flaches Zeltdach angedacht, erst in der revidierten Fassung von 1917 wurde die heutige Form der kuppelbedeckten Rotunde mit einer Laterne eingefügt. Gull begründete dies damit, dass der Austausch des unter dem Kuppeldach befindlichen Lesesaals der Bibliothek mit dem darunter liegenden Auditorium eine entsprechende Höhe erfordert hätte³. Ursprünglich war auch geplant, die 24 aus «vorgefertigten Bogenrippen»⁵ gebaute Kuppel in Sichtbeton zu zeigen. Dies wurde als zu «hellfarbig» und als «zu hart zur Schau gestellte(s) Konstruktionssystem»¹ kritisiert. Daher wurde die Kuppel 1920 mit Ziegeln gedeckt.

Rücktritt des Oberbibliothekars

Neben der Kritik an seiner Kuppel hatte Gull mit Problemen bei den Bauarbeiten zu kämpfen. Zum einen fehlten durch die Kriegsjahre das für den Bau benötigte Eisen und Kupfer. Ausserdem verzögerten sich die Bauarbeiten 1918 bis 1920 durch diverse Streiks und Grippe-Erkrankungen der Handwerker. So notiert Gull zum Ablauf der Bauarbeiten: «2. September 1919: Wegen Mangel an Steinhauern sehr langsame Ablieferung der Steinhauerarbeiten. 1. April–15. August 1920: Steinhauerstreik, daher grosse Arbeitsverzögerung»⁵. Am 7. Dezember 1920 wurde der Lesesaal unter dem Kuppeldach eröffnet. Doch auch nach ihrer

1 Ursprünglich war geplant die Struktur der Kuppel zu zeigen. Als dies auf Kritik stiess, wurde sie 1920 mit Ziegeln eingedeckt.

2 1986 wurde unter der Kuppel ein Konstruktionszentrum mit dem Namen CAETH eingerichtet. (Fotos: Bildarchiv/Bibliothek ETH Zürich)

Fertigstellung hatte die Kuppel mit Ihrer Akzeptanz zu kämpfen. Als die ETH-Bibliothek 1923 unter die neue Kuppel zog, trat Oberbibliothekar Ferdinand Rudio von seinem Amt zurück, weil er die grössere Distanz zu den Nutzern für schädlich hielt⁶. Seit 1998 befindet sich das Visualisierungszentrum «VisDOME» unter der Kuppel. Es dient als interdisziplinäre Forschungsplattform für technisch-naturwissenschaftliche Anwendungen.

Quellen:

- 1 Werner Oechslin, gta Verlag 2005, Hochschulstadt Zürich, Bauten für die ETH 1855–2005
- 2 Schweizerische Bauzeitung, Band 55, Nr. 4, 22. Januar 1910, Wettbewerb zu Um- und Neubauen für das Eidg. Polytechnikum in Zürich, S. 45–50
- 3 Schweizerische Bauzeitung, Vol. 75/76 (1920), S. 281–283
- 4 zitiert nach: David Gugerli, Zeichen der Neuorientierung S. 234, in: Burri, Monika und Andrea Westermann, ETHistory 1855–2005. Sightseeing durch 150 Jahre ETH Zürich, hier + jetzt, Baden 2005, S. 234–237
- 5 Festschrift zum 75jährigen Bestehen der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, 1930, Kommissionsverlag Orell Füssli, Zürich, S. 77–93
- 6 → www.ethistory.ethz.ch/rueckblicke/verwaltung/biblio/entwicklung

Nachtrag

Bei dem in der ETH-Globe Ausgabe 1/2010 auf den Seiten 48–49 veröffentlichten Artikel zum Thema Eidophor handelt es sich um eine Zusammenfassung des Buches der Historikerin Caroline Meyer: Der Eidophor. Ein Grossbildprojektionssystem zwischen Kino und Fernsehen 1939–1999. Chronos Verlag Zürich 2009.

Ein Wort in Arbeit



Philipp Theisoohn, 35 Jahre alt, 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.

Energie ist vieles. Vor allem anderen aber ist sie ein etymologisches Monstrum, das erst einmal verstanden sein will. Der Kolumnist rät sprachkritisch auch zum sprachlichen Energiesparen.

➔ Als Sprachwächter hat man es schwer. Das liegt nicht nur daran, dass diejenigen, die in jedem Auffahrunfall «Tragik» erkennen wollen bzw. die «mythisch» und «mystisch» synonym und sowieso beides falsch verwenden, nicht aussterben, sondern im Gegenteil sich munter vermehren und längst die TV-Redaktionen in Besitz genommen haben. Damit muss man leben und tut es auch gern, sonst hätte man ja keine Lebensaufgabe. Nein, die echten Krisen stiften nur die Wörter selbst, vornehmlich diejenigen, bei denen der ursprüngliche Bedeutungsrahmen im Laufe der Geschichte dermassen verformt wurde, dass man selbst jede Orientierung verliert. Dementsprechend kann man sich mein Entsetzen vorstellen, als ich die Mitteilung erhielt, ich solle doch für das nächste Heft etwas zu «Energie» schreiben. Das ist nämlich genau so ein Kandidat.

Nicht, dass ich auf dem Gebiet so ganz ahnungslos wäre. Mit den Urgründen des Begriffs kann ich sehr wohl etwas anfangen; wer Philosophie studiert, kommt ja um Aristoteles nicht herum. «Energieia», das ist bei den Griechen noch eine ganz noble Geschichte. Damit bezeichnet man etwas, das «in Arbeit» ist (weil da griechisch «ergon» = «das Werk» drinsteckt), also eine tätige Kraft, und das Besondere dabei ist, dass diese tätige Kraft beim Menschen zudem ein Wohlgefallen auslöst. (Es geht also nicht um Schufferei.) Das in etwa wäre das Konzept von Energie, wenn man es auf die kürzeste Formel bringen will. Sobald man aber damit beginnt, dieses Konzept inhaltlich zu füllen, und danach fragt, woher die Energie kommt und wozu sie uns gegeben wurde (und wozu nicht), wird es kompliziert. Die Konsequenz: Dieses Wort stand und steht für alle beliebigen resp. missliebigen Gebräuche offen wie ein Scheunentor. Die Energie durchfließt nun einmal alles und bewegt somit nicht nur

Güterzüge, sondern, wie wir seit Freud wissen, auch Träume.

Die Physiker hingegen, die den Begriff erst zu dem haben werden lassen, worüber wir heute reden, hatten für die lustvolle Seite der Energieerwartungsgemäss wenig Sinn. Für sie blieb das einfach die Bezeichnung einer wandernden Quantität, die man in Joules misst und die, aufs Ganze gesehen, nie grösser oder kleiner werden kann. Man macht sich das nur selten klar, da man allseits von «Energiekrisen» und «erneuerbaren Energien» hört. Tatsächlich hat die Energie, wer oder was sie auch immer sein mag, niemals Krise und wartet auch nicht sehnsüchtig darauf, regeneriert zu werden. Sie ist ohnehin immer da, nur für uns eben nicht immer – ein ernüchternder Gedanke, der uns heute nicht nur in die Baumärkte, sondern auch auf internationale Konferenzen und in bilaterale Verhandlungen treibt.

Gekontert wurde der Hader mit der Energie spätestens mit den Achtzigern und ihrer Wiederentdeckung der Körperenergie. Auf einmal kehrte der Eros zurück. «High Energy»! («Your love is liftin' me» etc., Zitat: Evelyn Thomas.) Zugegeben: Das Ganze hiess eigentlich Aerobic und war mehr oder weniger eine breit angelegte Werbekampagne für schlimme Videos, schlimme Musik und schlimme Kleidung, aber die Energie erhielt dadurch ihr fröhliches Gesicht zurück, wurde in der Hitze der Körper gelegentlich aber auch zum Gegenstand recht unverblümter Überfälle («I don't care how you do it / but give me your energy», vergl. Trio 1983). Überlebt haben diese popkulturellen Avancen an das Wort freilich nur im Energydrink und in den Namen von privaten Radiosendern («Energieschie»), die nicht auf den Kalender geschaut haben und ohnehin eher Unlust hervorrufen.

Unterm Strich: Hier kommt vieles zusammen, was wohl zusammengehört, aber niemand weiss genau wie. Das Wort schreit geradezu nach einer neuen Physik, die imstande wäre, die Bewegung der Energie durch unsere Sprache zu bemessen und aufzuzeigen, wo sie effizient eingesetzt und wo sie verschwendet wird. In diesem Sinne mache ich mich nun ans Energiesparen.

Globale Herausforderung:

Das Klima wandelt sich schneller als je zuvor

**Klimaschutz ist eine Investition
in unsere Zukunft.**

Die Zukunft des Klimas beginnt
in unseren Köpfen.



Lösungen für eine nachhaltige Zukunft

www.sika.com

Innovation & since
Consistency 1910

Climate change, aging populations,
earthquakes, tsunamis,
computer crime, global recession.

Take your pick.

Risky place, Planet Earth. But as one of the world's leading reinsurers, risk is our business. Risk in every shape and form, in every walk of life. As a graduate at Swiss Re, your job will mean coming to grips with all those global issues that make life today so risky – and so challenging. Whether your discipline is natural science, mathematics, business administration, medicine, law, finance, or just about anything else for that matter, we're looking for exceptional people who are up for spending 18 months of their life on our graduates@swissre programme. At Swiss Re, risk is the raw material we work with, but what our clients value are the opportunities we create. And – hey – this could be yours.

Seize your opportunity at www.swissre.com/graduates

Swiss Re

