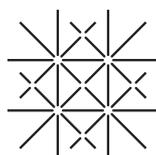
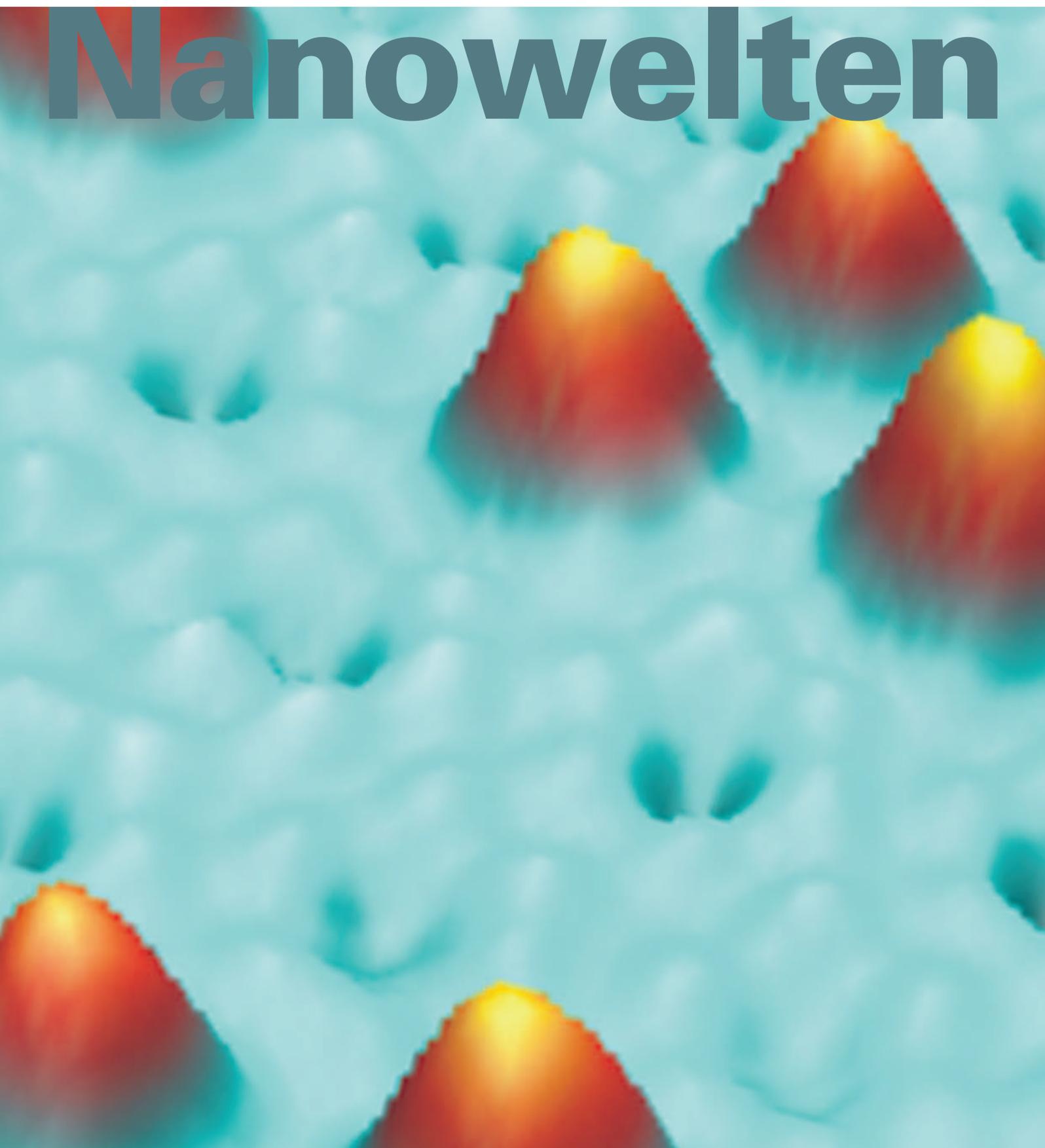


Nanowelten



UNI
BASEL

Liebe Leserin, lieber Leser,

Für einmal führt das Wissenschaftsmagazin der Universität Basel ins Reich des fürs Auge Unsichtbaren, zu den (derzeit) kleinsten überhaupt messbaren Dingen: in die Labors der Forschenden der Nanowissenschaften. Wie winzig ein Nanometer, ein Milliardstel Meter, ist, zeigt ein Vergleich: Ein Nanoteilchen verhält sich zu einem Fussball wie ein Fussball zu unserer Erdkugel. Materialien im Nanometerbereich, nämlich Moleküle und Atome, lassen sich nun mit neuartigen Technologien sichtbar machen und bearbeiten. Da reicht das Auflösungsvermögen herkömmlicher optischer Mikroskope bei weitem nicht mehr aus. Mit der Entwicklung des Rastertunnelmikroskops vor 25 Jahren und des Rasterkraftmikroskops vor zwanzig Jahren hat die Forschung einen grossen Sprung gemacht: Moleküle lassen sich seither mit speziellen Werkzeugen verändern, ja sogar einzelne Atome bewegen.

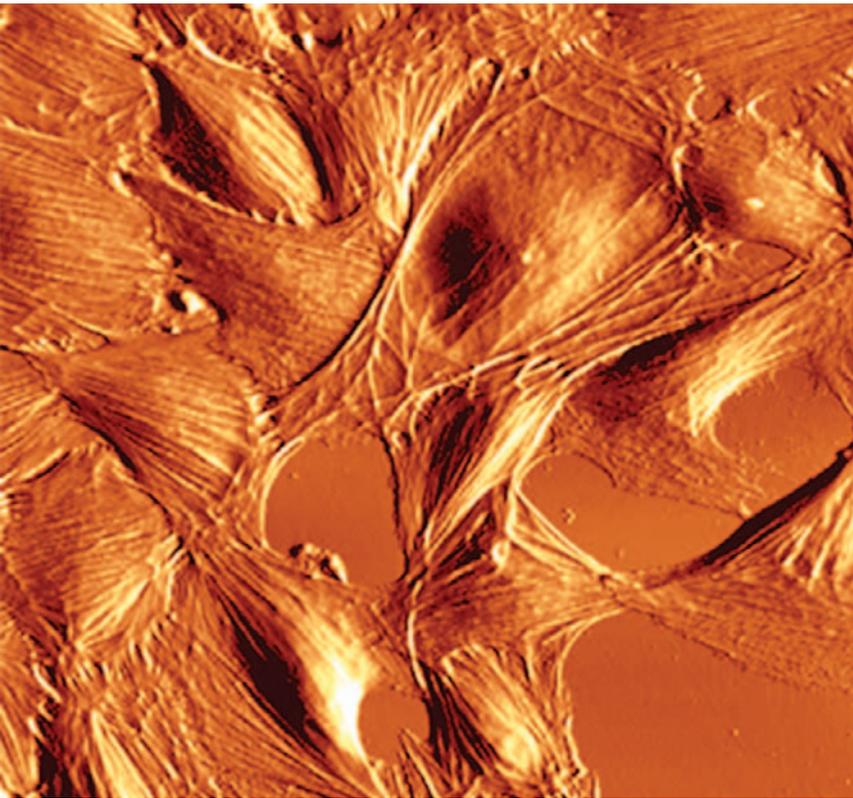
Auf dieser Ebene des Kleinsten verschmelzen die Disziplinen Physik, Biologie, Chemie und Medizin miteinander. Mehr noch: Beim Übergang in die Nanowelt verändern sich nicht nur die Dimensionen, auch die Grenze der klassischen Physik zur Quantenphysik wird überschritten. Denn Nanomaterialien unterscheiden sich in zahlreichen Eigenschaften deutlich von den mit dem Auge wahrnehmbaren Dingen. Solche Phänomene könnten die Grundlage für neue, viel versprechende Anwendungen bilden. Erhofft werden technologische Durchbrüche, etwa in der Entwicklung von winzigen Speicherelementen – doch dabei gilt es, immer auch die möglichen Risiken im Auge zu behalten, die von den Kleinstpartikeln ausgehen könnten.

Die Erforschung der Nanowelten fängt gerade erst an. Von der Universität Basel aus wird der Nationale Forschungsschwerpunkt (NFS) Nanowissenschaften geleitet, ein langfristig angelegtes, interdisziplinäres Programm, das Impulse für Life Sciences, Nachhaltigkeit sowie Informations- und Kommunikationstechnologien geben möchte. Und die Stadt Basel beherbergt diesen Sommer einen grossen Internationalen Nano-Kongress mit Publikumsausstellungen. In dieser Ausgabe von UNI NOVA werden Basler Forschungsprojekte vorgestellt, die einige spannende Seiten der Nanowissenschaften zeigen. Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre!

Christoph Dieffenbacher

Redaktion UNI NOVA

Nanowelten Die Suche nach den grundlegenden Bausteinen unseres Universums gehört zu den ältesten wissenschaftlichen Bemühungen überhaupt. Immer kleinere Objekte sind dabei zum Vorschein gekommen. Erst seit wenigen Jahrzehnten wird im Massstab von Nanometern geforscht. Die Nanotechnologie gilt als eine viel versprechende Schlüsseltechnologie. Bereits sind mehrere Nanoprodukte auf dem Markt. Im Bild: Kultivierte Fibroblasten unter dem Rasterkraftmikroskop (Bild: NFS).



| | |
|--|-----------|
| Die Welt des Kleinen | 6 |
| Mikroskope mit Nadelspitzen | 9 |
| Oberflächen prüfen und messen | 11 |
| Instrumente für bessere Diagnostik | 13 |
| Federbalken als Sensoren | 15 |
| Der Natur abgeschaut | 17 |
| Antennen für Licht | 19 |
| Netzwerke, die sich selbst aufbauen | 20 |
| Schaltende Moleküle | 22 |
| Schneller rechnen | 25 |

| | | |
|------------------|---------------------------------------|-----------|
| Forschung | Verräter und Schattengestalten | 29 |
| | Wie Pflanzen heilen | 31 |
| | Organentnahmen an Verstorbenen | 33 |



| | | |
|-----------------|---|-----------|
| Rubriken | Editorial | 3 |
| | Kolumne | 27 |
| | «Sozialwissenschaften und Ungleichheit II» | |
| | In Kürze | 35 |
| | Bücher | 36 |
| | Mein Web-Tipp, Termine | 37 |
| | Briefe, Impressum | 38 |

Titelbild Selbst organisiertes, nanoporöses Netzwerk aus dem Farbstoff Porphyrin in einer Rastertunnelmikroskop-Aufnahme: Das Netzwerk kann fremde Partikel als Gastmoleküle aufnehmen und verformt sich dabei. In den regelmässig angeordneten Poren (hellblau) sitzen so genannte Fussball-Moleküle aus Kohlenstoff (rot-gelb). Die Poren liegen je nur etwa 3,3 Nanometer auseinander. Solche Netzwerke haben ein grosses Anwendungspotenzial, etwa als Datenspeicher (Bild: NFS).

Die Welt des Kleinen

Christel Möller

Tennisschläger, schmutzabweisende Jacken, kratz-feste Autolacke, Kleinstpartikel in Sonnencremes und Putzmitteln – Nano begegnet uns im Alltag überall. Aber was ist Nanotechnologie überhaupt, was sind die Grundlagen und möglichen Anwendungen und welche potenziellen Risiken hat sie? Fragen, die auch Forschende in Basel beschäftigen. Eine Einführung ins Thema.

Nanowissenschaftler der Universität Basel untersuchen vor allem die wissenschaftlichen Grundlagen der noch recht jungen Technologie. Sie arbeiten in der Welt des Kleinen, der einzelnen Atome und Moleküle. In diesem faszinierenden Kosmos existieren andere Gesetze als in der Makrowelt. Nur interdisziplinären Teams mit Forschenden aus Physik, Chemie, Biologie und Medizin ist es möglich, die Gesetze der Nanowelt zu untersuchen und neue Anwendungen zu entwickeln.

Neuartige Mikroskope... Möglich wurde der Vorstoss in die Nanowelten erst durch die Entwicklung neuer Mikroskope, die Strukturen im Nanometerbereich sichtbar machen können. 1981 bewältigten die IBM-Wissenschaftler um Gerd Binnig, Heinrich Rohrer und Christoph Gerber mit dem Rastertunnelmikroskop den ersten Schritt. Erstmals konnten mit diesem Mikroskop – dessen Entwicklung später mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde – einzelne Atome und Moleküle abgebildet werden. Anders als bei den bis dahin bekannten Licht- oder Elektronenmikroskopen tastet hier eine Messsonde die Oberfläche einer Probe genau ab – ähnlich wie ein Finger beim Lesen von Blindenschrift. Es entsteht so ein detailgetreues Bild der Oberfläche.

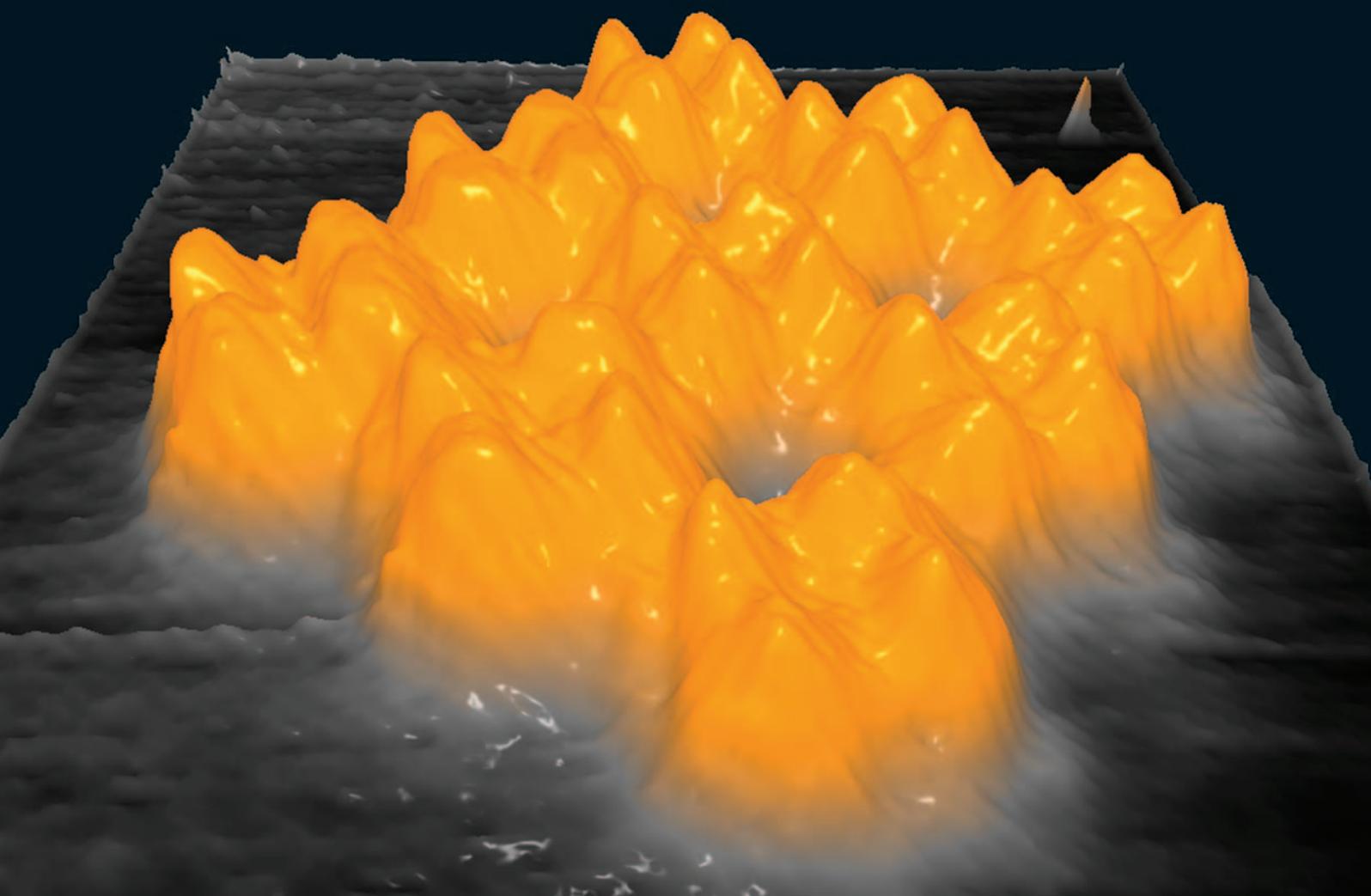
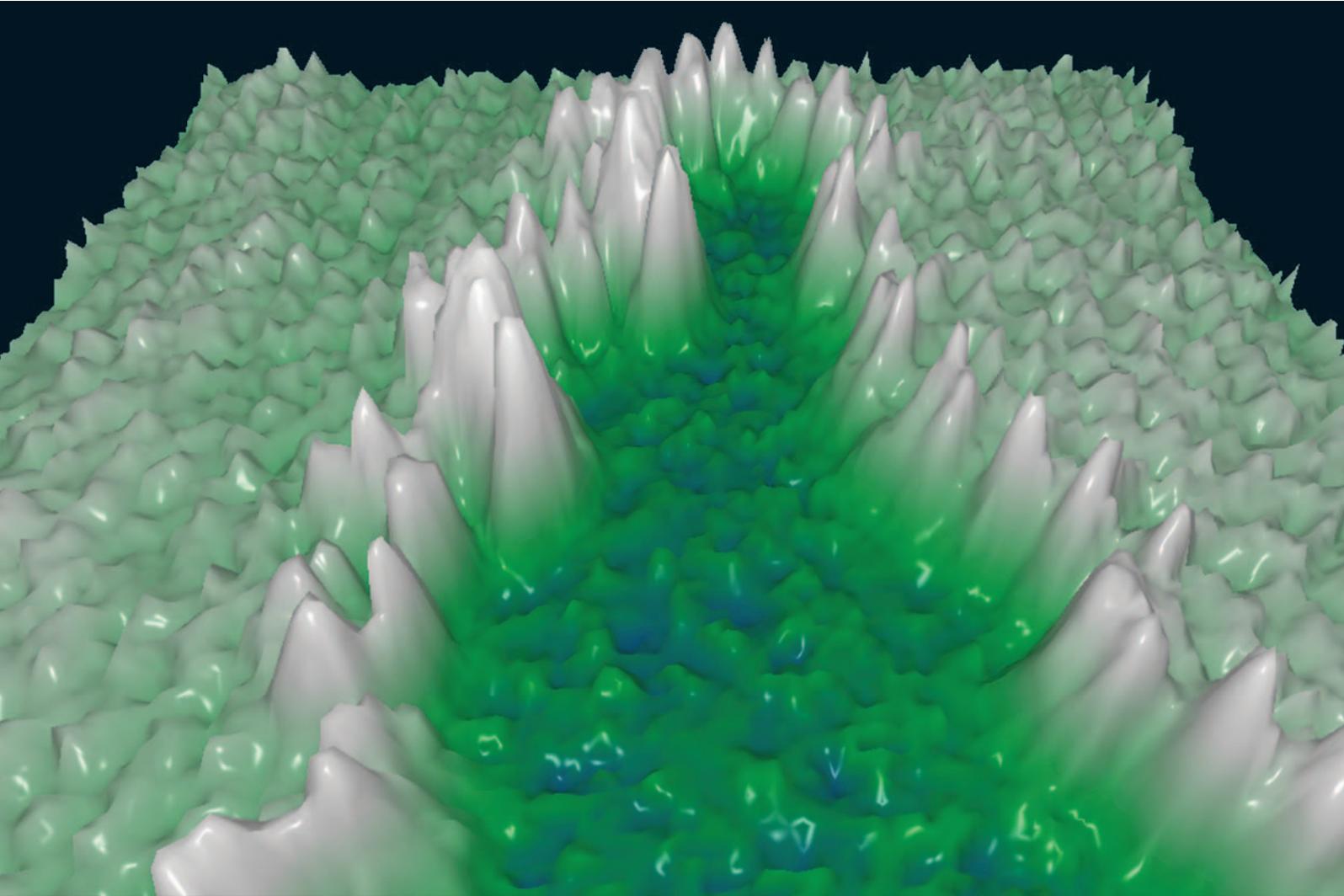
Dem Rastertunnelmikroskop folgte die Erfindung des Rasterkraftmikroskops, zu dem Wissenschaftler der Universität Basel wesentlich beitrugen. Rasterkraftmikroskope bieten den enormen Vorteil, dass sie auch zur Abbildung von Biomolekülen in

ihrer natürlichen Umgebung benutzt werden können. Damit ist ein völlig neuer Einblick in lebende Zellen möglich: Die Arbeit von intakten Proteinen und anderen Biomolekülen lässt sich in lebenden Zellen untersuchen. Die Forschenden erleben erstmals, wie natürliche Nanomaschinen in pflanzlichen, tierischen oder menschlichen Zellen arbeiten. Doch die neuen Mikroskope können noch mehr: Einzelne Atome und Moleküle lassen sich gezielt verändern, verschieben und manipulieren, und verschiedene physikalische oder chemische Eigenschaften der Untersuchungsobjekte können gemessen werden.

... und Materialien Neben den modernen Mikroskopen, die die Nanowelt erst erforschbar machen, leistete auch die Entdeckung neuer Materialien wie Fussball-Kohlenstoffmoleküle und Kohlenstoffnanoröhrchen einen entscheidenden Beitrag zu den Fortschritten in den Nanowissenschaften. Kohlenstoffnanoröhrchen etwa bieten dank ihrer einzigartigen Eigenschaften zahlreiche Einsatzmöglichkeiten. Wegen ihrer hervorragenden Wärme- und elektrischen Leitfähigkeit ist ihr Einsatz in der Elektronik von grossem Interesse, und durch ihre enorme Zugfestigkeit können sie zur Verstärkung von Materialien verwendet werden. Sie haben sich als feine Spitze in der Rastersondenmikroskopie bewährt und werden als Bauteile für flache, selbstleuchtende Bildschirme untersucht.

Die Entwicklungen, die zur Entstehung der Nanowissenschaften geführt haben, kommen aus ganz unterschiedlichen Fachbereichen, und auch die aktuellen Fragen der Nanoforschung lassen sich nicht einzelnen Disziplinen zuordnen. Um die Zusammenarbeit von Forschenden aus Physik, Chemie, Biologie und Medizin noch zu verstärken, wurde 2001 der Nationale Forschungsschwerpunkt (NFS) Nanowissenschaften gegründet. Innerhalb dieses Schwerpunkts steuern Nanowissenschaftler

Faszinierender Kosmos mit viel versprechenden Anwendungen: Natriumchlorid-Moleküle (oben) und Porphyrin-Moleküle (unten) jeweils auf einer Kupferoberfläche (Bilder: NFS).



der Universität Basel ein Netzwerk von Schweizer Forschungsinstituten und Firmen. Die wissenschaftliche Forschung innerhalb des NFS konzentriert sich auf Nanobiologie und Nanomedizin, molekulare Elektronik, neue Materialien, verschiedene atomare und molekulare Systeme und Quantencomputing.

Dabei arbeiten jeweils interdisziplinäre Teams zusammen. Wird zum Beispiel untersucht, wie bestimmte Proteine in der Membran arbeiten, sind Fachleute in Biologie und Mikroskopie gefragt. Und auch für die Medizin sind die Ergebnisse wichtig, da Membranproteine eine wichtige Rolle bei der Therapie von Krankheiten spielen. Wird untersucht, wie einzelne Moleküle als elektronische Schalter fungieren können, arbeiten Chemiker (die Verbindungen mit ganz bestimmten Eigenschaften herstellen) Hand in Hand mit Experimentalphysikern (die die elektronischen Versuche planen und durchführen) und Theoretikern (die theoretische Grundlagen liefern).

Nutzen und Risiken Bei aller Euphorie über die Möglichkeiten, die neues Wissen und neue Materialien schaffen, dürfen die Forschenden die Risiken der neuen Technologien nicht aus den Augen verlieren. An zahlreichen Instituten weltweit werden die gesundheitlichen und ökologischen Risiken der Nanomaterialien untersucht. Im NFS Nanowissenschaften in Basel untersucht eine Gruppe beispielsweise die Biokompatibilität und Toxizität von polymeren Nanocontainern. Diese besitzen eine hohe molekulare Spezifität und können daher in Zukunft vielleicht ganz gezielt Wirkstoffe zu einem erkrankten Organ transportieren und kontrolliert freisetzen. Durch eine gezielte Therapie vor Ort ist eine effizientere Behandlung mit weniger Nebenwirkungen zu erwarten. Vor jeder Anwendung bei Menschen müssen jedoch negative Effekte so weit wie möglich ausgeschlossen werden.

Auch Ethiker verfolgen die Entwicklung der Nanotechnologie, ziehen Parallelen zur Gentechnik und geben Empfehlungen für den Umgang mit den neuen Technologien. Bisher sind die möglichen Risiken und Auswirkungen der Nanotechnologie noch nicht eindeutig. Erst die Ergebnisse langjähriger Studien werden Klarheit schaffen. Eines ist sicher: Jede neue Technolo-

Wie gross ist Nano? Als Vorsilbe einer Masseinheit umschreibt Nano (von griechisch nanos, «Zwerg») den Milliardensten Teil. Ein Nanometer (nm) ist also ein Milliardenstel Meter oder ein Millionstel Millimeter. Ein menschliches Haar müsste etwa 60'000-mal gespalten werden, um einen Durchmesser von 1 nm zu erreichen. Selbst Bakterien – für das menschliche Auge nur mit Hilfe eines hochauflösenden Mikroskops sichtbar – sind noch 1000 bis 10'000 nm gross.

Bei einzelnen Atomen und Molekülen kommen Wissenschaftler dann in die Größenordnung von Nanometern: Ein einzelnes Atom hat einen Durchmesser von 0,3 nm.

In den Nanowissenschaften werden die wissenschaftlichen Grundlagen der Materialien und Strukturen im Nanometermassstab untersucht. Die sich daraus entwickelnde Nanotechnologie umfasst die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, Materialien und Oberflächen, deren Ausmasse kleiner als 100 nm sind.

gie birgt Risiken in sich, aber nur durch die Erforschung der Grundlagen lässt sich abwägen, ob sie gegenüber den Möglichkeiten in Kauf genommen werden können.

Der jetzige Forschungsstand lässt zahlreiche Anwendungen der Nanowissenschaften erahnen – weit über die heute bekannten hinaus. Durch fortschreitende Miniaturisierung wird es möglich sein, Ressourcen einzusparen und höhere Leistungen in der Computertechnologie zu erzielen; neue Materialien mit einer idealen Kombination von Eigenschaften werden erforscht, Patienten werden weniger belastet, dafür früher und besser therapiert und vieles mehr. Einige Möglichkeiten der Nanowissenschaften sind in diesem Heft vorgestellt. Weit mehr wird noch kommen – wir können gespannt sein! ■

Dr. Christel Möller ist Kommunikationsverantwortliche im NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel.
Weitere Informationen: www.nccr-nano.org/nccr/

Mikroskope mit Nadelspitzen

Ernst Meyer

Erst die Entwicklung der Rastersondenmikroskope hat der Wissenschaft einen Einblick in die Nanowelt ermöglicht. Heute können damit einzelne Atome und Moleküle dargestellt, manipuliert und analysiert werden.

Es waren oft neue Instrumente, die grössere wissenschaftliche und technologische Fortschritte möglich gemacht haben. Die Entwicklung des Fernrohrs etwa hat zu neuen Einsichten in der Astronomie geführt: So basieren die Kepler'schen Gesetze der Planetenbewegung wesentlich auf detaillierten experimentellen Beobachtungen. Heute werden mit modernen Instrumenten wie dem Hubble-Teleskop Beobachtungen gemacht, die zu neuen Erkenntnissen über den Aufbau des Universums führen. Ähnlich spannende Verhältnisse finden wir im Mikrokosmos.

Die Entwicklung der Lichtmikroskopie hat wesentlich zum Verständnis von biologischen Zellen beigetragen. Lange schien die Abbé'sche Auflösungsgrenze im Bereich der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes unantastbar (Wellenlänge von sichtbarem Licht: 400 bis 800 Nanometer). In den letzten zwanzig Jahren wurden grosse Fortschritte gemacht, die auf Nahfeldoptik und konfokaler Mikroskopie basieren. So ist es heute möglich, optische Mikroskopie im Bereich von 10 bis 50 Nanometer durchzuführen. Als Alternative zu Lichtwellen bieten sich aber auch Elektronen an, die Wellenlängen im Subnanometerbereich haben.

Die Erfindung des Elektronenmikroskops durch Ernst Ruska in den 1930er-Jahren macht es zum ersten Mal möglich, in den Nanometerbereich vorzudringen. Allerdings sind die «Linsen» für Elektronen mit grossen Abbildungsfehlern behaftet, sodass es lange Zeit nicht möglich war, an die Grenzen der Auflösung zu gelangen. Erst in den späten 1990er-Jahren gelang es, Elektronenmikroskope zu bauen, mit denen auch einzelne Atome

abgebildet werden können. Diese Instrumente sind allerdings sehr aufwendig und teuer.

Atome ertasten Ein völlig neuer Ansatz wurde mit der Rastertunnelmikroskopie (Scanning tunneling microscopy, STM) gefunden: Eine feine Spitze, ähnlich einer Nähnadel, wird über Oberflächen gerastert. Der Abstand zwischen Spitze und Probe wird mittels des so genannten Tunnelstroms geregelt, eines elektrischen Stroms, der nur quantenmechanisch erklärt werden kann. Bei einem Abstand zwischen Spitze und Oberfläche von etwa einem Nanometer werden Ströme von Nanoampère gemessen. Sie nehmen mit grösserem Abstand exponentiell ab.

Das Erstaunen der Wissenschaftsgemeinde war gross, als die ersten STM-Bilder von einzelnen Siliziumatomen veröffentlicht wurden. Diese Errungenschaft der Physiker Gerd Binnig und Heinrich Rohrer vom IBM-Forschungslaboratorium Rüschlikon von 1981 hat bereits fünf Jahre später zur Verleihung des Nobelpreises geführt. Heute, 25 Jahre danach, nimmt das Rastertunnelmikroskop einen wichtigen Platz in der Mikroskopie ein. Zu den weiteren grossen Erfolgen gehört die Manipulation von einzelnen Atomen oder die Vibrations-Spektroskopie von einzelnen Molekülen. Das STM hat zu einer Fülle von neuartigen Mikroskopen geführt, die alle wesentlich auf dem Prinzip einer lokalen Sonde («Nadelspitze») basieren.

Ein wichtiges Rastersondenmikroskop ist das Rasterkraftmikroskop (Atomic force microscope, AFM). Hier wird eine kleine, mechanische Feder verwendet, die die Kräfte zwischen Spitze und Probe misst. Vor genau zwanzig Jahren wurde von Gerd Binnig, Cal Quate und Christoph Gerber das erste AFM vorgestellt. Ihre Originalpublikation gehört heute zu den meist zitierten wissenschaftlichen Publikationen. Bereits damals

konnte eine Auflösung im Nanometerbereich auf einer isolierenden Quarz-Oberfläche vorgestellt werden.

Im Gegensatz zum STM braucht das AFM keinen elektrischen Strom. Damit ist es möglich, auch isolierende Oberflächen zu untersuchen. In der Folge wurde die Auflösung kontinuierlich verbessert, bis es schliesslich gelang, auch einzelne Atome abzubilden. So können die Ionen und Defekte von Natriumchlorid- oder Kaliumbromid-Salz-Oberflächen untersucht werden. Der Erfolg des AFM ist so gross, weil es auch in Flüssigkeiten und auf biologischen Proben zu beeindruckenden Ergebnissen führt.

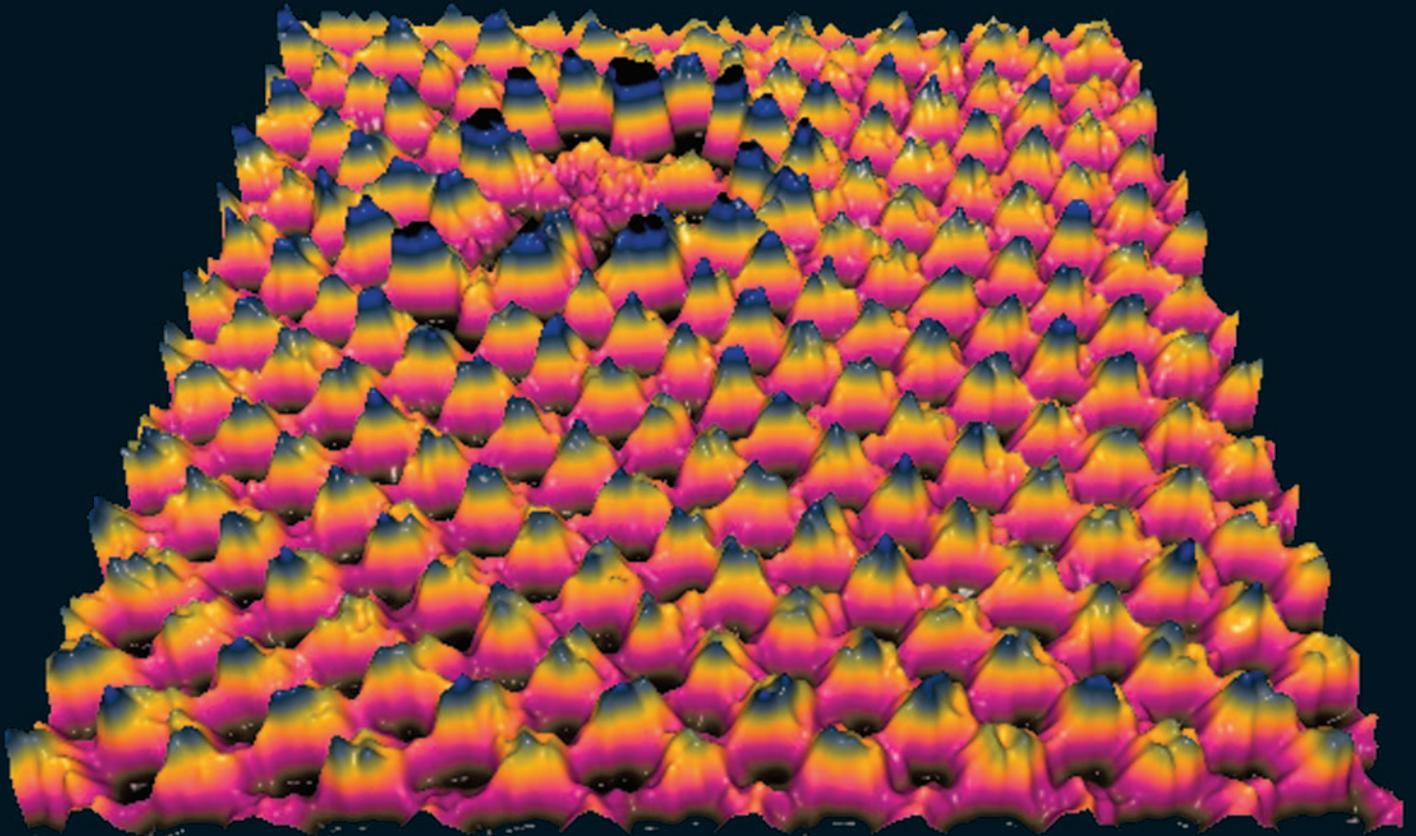
Chemische Analysen Die Erfindung von STM und AFM hatte und hat einen grossen Einfluss auf die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technologie. Die Nanowissenschaften wurden wesentlich von Experimenten dieser beiden Mikroskope beeinflusst. Wohin geht die Entwicklung dieser Art der Mikroskopie? Konkreter Bedarf besteht bei der chemischen Analyse von Probenoberflächen. Zwar ist es möglich, die topographische Information von Oberflächen mit atomarer Auflösung zu erhalten, jedoch fehlt die Information über ihre chemische Zusammensetzung.

Rasterkraftmikroskopie-Aufnahme einer Kaliumbromid-Salz-Oberfläche (Bild: NFS).

Hier werden verschiedene Ansätze verfolgt: Die magnetische Kernresonanz ist eine etablierte Methode zur Analyse von chemischen Proben. Seit 1991 wird versucht, das benötigte Detektionsvolumen der magnetischen Kernresonanz mittels mechanischer AFM-Sensoren zu verbessern. Mit der klassischen Methode der Kernresonanzspektroskopie (NMR), die Spulen zur Detektion verwendet, werden mindestens 10^{15} Kernspins benötigt. Mit Magnetresonanzkraftmikroskopie (MRFM) lassen sich bereits einzelne Elektronenspins und zurzeit 10^8 Kernspins nachweisen.

Es gibt die berechtigte Hoffnung, dass es in den nächsten Jahren gelingen könnte, einzelne Kernspins zu detektieren. Alternativ wird versucht, Massenspektrometrie mit lokaler Sondenmikroskopie zu verbinden. Auch hier konnten bereits erste Experimente durchgeführt werden. Sie zeigen, dass chemische Analysen auf der Nanometerskala möglich sind. Eine weitere wichtige Entwicklung ist die bereits erwähnte hochauflösende optische Mikroskopie, die die Auflösungsgrenzen der optischen Mikroskopie deutlich verbessert und es erlaubt, einzelne Moleküle spektroskopisch zu untersuchen. ■

Prof. Ernst Meyer ist Extraordinarius für Physik an der Universität Basel und Modulleiter im NFS Nanowissenschaften.



Oberflächen prüfen und messen

Peter Reimann

Technische Firmen ohne eigene Forschungsabteilung suchen oft den Kontakt zu Hochschulen. Das Institut für Physik der Universität Basel ist häufig behilflich, wenn es um die Prüfung von Werkstoffoberflächen und quantitative Aussagen zur Oberflächengüte eines Materials geht.

Da bei der Untersuchung von Oberflächen Strukturen im Nanometerbereich eine Rolle spielen, kommen für diese Messungen Rasterkraftmikroskope (Atomic Force Microscope, AFM) zum Einsatz. Diese Mikroskope haben die einzigartige Fähigkeit, nanometergrosse Strukturen zu vermessen und darzustellen. Dabei tastet eine äusserst feine Spitze die Probenoberfläche Punkt für Punkt und Zeile für Zeile ab. Die Information wird vom Computer in ein räumliches Abbild der Probenoberfläche auf atomarer Ebene umgerechnet.

Eine der ersten Kooperationen des Instituts auf diesem Gebiet Ende der 1990er-Jahre war die Untersuchung von Dialysemembranen für das Kantonsspital Liestal. Der Chefarzt der Nephrologie-Abteilung, Dr. Denes Kiss, hatte mit seinem Team ein Verfahren zur Mehrfachverwendung von Dialysefiltern entwickelt. Dies sparte nicht nur erhebliche Ausgaben, sondern war vor allem für die Patienten sehr viel weniger belastend. Denn die Immunantwort des Körpers fällt deutlich schwächer aus, wenn bei der Blutwäsche Filter verwendet werden, die schon einmal vom eigenen Blut durchströmt waren. Auch das Herzkreislauf-System wird dadurch weniger belastet. Die Kosteneinsparung durch Wiederverwendung der Filter kann schnell Zehntausende von Franken pro Patient und Jahr erreichen.

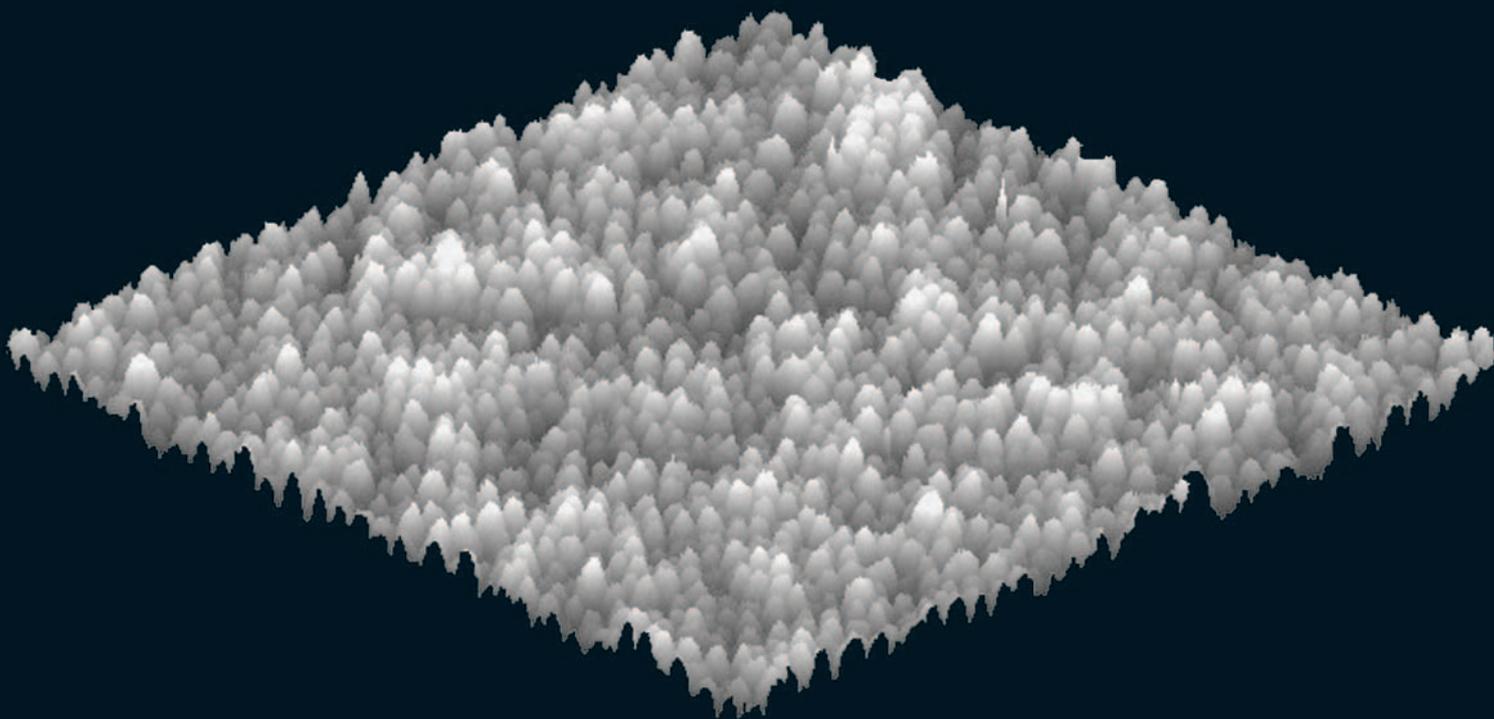
Bevor die Filter mehrfach verwendet werden konnten, mussten jedoch zunächst die Porengrösse der Dialysemembran darge-

stellt und die klinische Reinheit nach dem Recyclingprozess nachgewiesen werden. Studien dazu wurden in der Applikationsgruppe von Peter Reimann durchgeführt.

Beschichtete Brillengläser Eine weitere anwendungsorientierte Zusammenarbeit war auch die Untersuchung von Brillengläsern für die Firmen Knecht und Müller AG in Stein am Rhein und Optiswiss in Basel. Moderne Brillen sind heutzutage meist mit verschiedenen funktionalen Schichten vergütet. Es sind vor allem Schichten aus Aluminium-, Titan- oder Siliziumoxiden, die zur Reflexminderung, Entspiegelung oder Erhöhung der Kratzfestigkeit aufgebracht werden. Die Schichten sind nur wenige Nanometer dick und werden sandwichartig auf die Gläser aufgedampft. Die Haftfestigkeit dieser Vergütungen ist für die optische Industrie ein wichtiges Qualitätskriterium.

Für diese Untersuchungen wurde in Basel ein spezielles Gerät entwickelt, mit dem man direkt beim Hersteller einzelne Vergütungsschichten so auf die Gläser aufdampfen kann, dass sie sich mit dem Kraftmikroskop einzeln abbilden, vermessen und charakterisieren lassen. Mit diesen Untersuchungen gelang es, neue und wertvolle Erkenntnisse über die verschiedenen Vergütungsschichten direkt in den Herstellungsprozess einfließen zu lassen und somit unmittelbar zur Verbesserung von Produkt und Wirtschaftlichkeit beizutragen.

In einem weiteren Beispiel der AFM-Anwendung untersucht Verena Thommen aus der Applikationsgruppe Saphiroberflächen für die Firma Optico, einen Kleinbetrieb in der Ostschweiz. Optico ist auf ultrafeine Oberflächenbearbeitung spezialisiert. Saphir wird in der Halbleiterindustrie oft als Substrat für Galliumnitrid- oder Germanium-Laserdioden verwendet.



Nanopartikel, eingebettet in Autolack (Bild: NFS).

Die AFM-Messungen der Saphiroberflächen dienen als Qualitätsnachweise für den Hersteller der Halbleiterkomponenten aus Fernost. Die Messungen belegten die exzellente Politur des Saphirs durch Optico. Die Firma bekam daraufhin den ersten Schleifauftrag.

Lotuseffekt in Farben und Lacken Wohl eine der bekanntesten Anwendungen der Nanotechnologie ist die Nachahmung des so genannten Lotuseffekts: Auf den Blättern der Lotusblume perlen Wasser sowie kleinste Schmutzpartikel einfach ab. Äusserst kleine und feine, noppenartige Strukturen auf der Blattoberfläche hindern die Partikel daran, haften zu bleiben. Diesen Effekt haben sich einige Farbenhersteller zunutze gemacht und Nanopartikel in ihre Produkte integriert. Sind diese Kleinstpartikel zugleich hart und reflektierend, lassen sich nebst guter Versiegelungseigenschaften und Erhöhung der Kratzfestigkeit auch optische Effekte erzielen. Für die Ciba-

Spezialitätenchemie wurden diese Nanopartikel am Institut für Physik in Autolacken untersucht.

Besonders erfolgreich war die Entwicklung eines hoch empfindlichen Kraftmikroskops zur quantitativen Messung und Abbildung von nanometergrossen magnetischen Strukturen auf Computer-Festplatten. In enger Zusammenarbeit haben die Forschungsgruppe von Prof. Hans Hug, die hauseigenen Entwicklungsabteilungen und die Gelterkinder Firma Innomatic ein auf dem Weltmarkt einmaliges Mikroskop zur Untersuchung feinsten magnetischer Strukturen auf atomarer Skala entwickelt. Einer der grossen Festplattenhersteller in den USA, Seagate in Pittsburgh, hat das Potenzial dieses Gerätes schnell erkannt und den ersten Prototyp gekauft. Gekrönt wurde dieser Teilerfolg durch die Gründung der Spin-off-Firma SwissProbe, deren Zukunft sehr viel versprechend aussieht. ■

Peter Reimann, technisch-wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Physik und im NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel, ist verantwortlich für zahlreiche Kooperationen mit der Industrie und leitet die Technologieabteilung des Instituts.

Instrumente für bessere Diagnostik

Martin Stolz und Ueli Aebi

Das Rasterkraftmikroskop ist ein Schlüsselinstrument der Nanowissenschaften. Ein Team am Biozentrum der Universität Basel macht es für die Gelenk-arthrose-Forschung nutzbar.

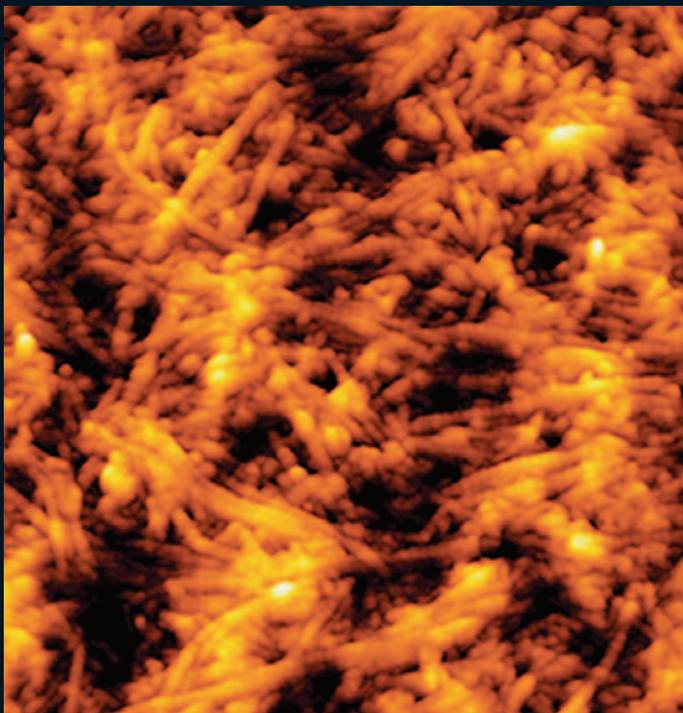
Das menschliche Knorpelgewebe ist hoch elastisch, ein bis drei Millimeter dünn und hält die Gelenke bewegungsfähig – solange sich die Glykosaminoglykane, seine Wasserspeicher und Abstandhalter, nicht abbauen. Denn dann bündeln sich die feinen Kollagenfasern des Gewebes, und der Knorpel degeneriert. Im gesunden Knorpelgewebe dagegen sind die Kollagenfasern zufällig ausgerichtet. Arthritische Gelenkveränderungen setzen nicht erst im Alter ein: Sie treffen Menschen, die ihrem Körper mit Bewegungsmangel, Nikotin und Fehlernährung zusetzen, genauso wie jene, deren Gelenke durch

Überlastung oder Verletzung strapaziert sind. Und die Arthrose verursacht neben starken Schmerzen auch grossen wirtschaftlichen Schaden.

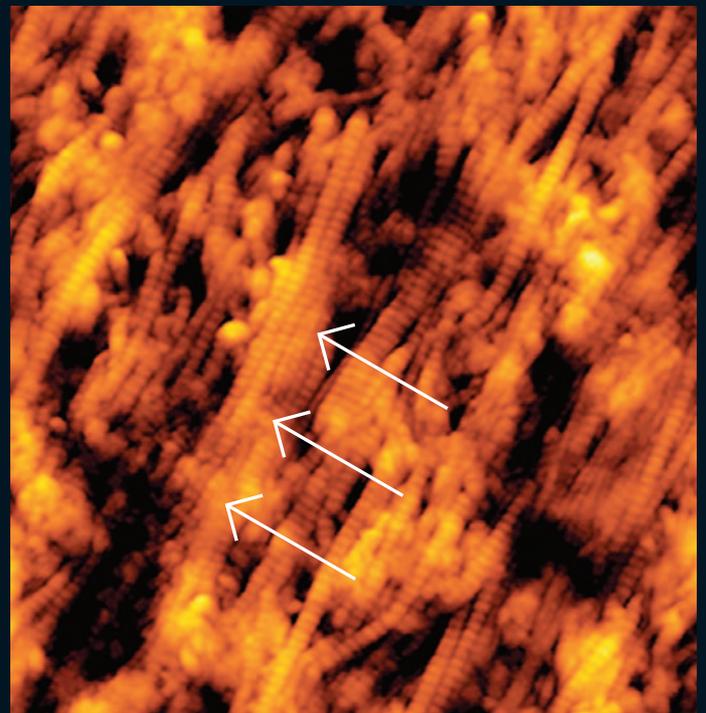
Volkskrankheit Arthrose Um die Volkskrankheit effektiver zu behandeln, braucht man vor allem eine gute Früherkennung. Bislang beschränkten sich die Möglichkeiten auf bildgebende Verfahren, mit denen jedoch keine Aussagen über die funktionellen Eigenschaften des Knorpels möglich sind – Veränderungen sind selbst im Kernspintomographen erst im fortgeschrittenen Krankheitsstadium sichtbar.

Hier kommt nun ein spezialisiertes Team des NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel ins Spiel: Denn sein modifi-

Im gesunden Knorpelgewebe (links) sind die Kollagenfasern zufällig ausgerichtet, im arthritischen Gelenk (rechts) bündeln sie sich. Das Rasterkraftmikroskop misst den Zustand der Glykosaminoglykane im Kollagenfasernetz (Bilder: NFS).



1µm



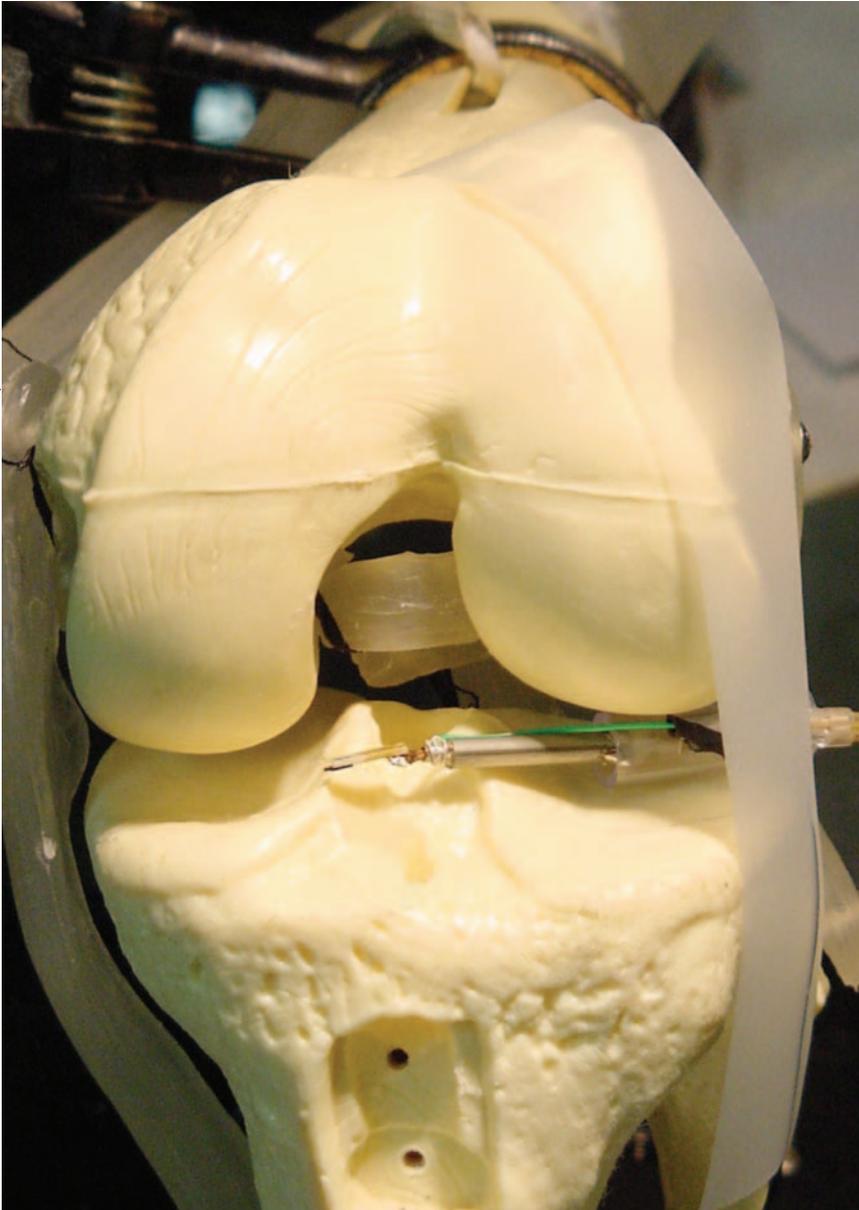
ziertes Rasterkraftmikroskop erlaubt nicht nur die tausendfach detailliertere Bildgebung, sondern auch solide biomechanische Messungen können durchgeführt werden. Damit können die Basler Forscher inzwischen die Eigenschaften von Knorpelgewebe auf allen Ebenen seiner hoch komplexen Struktur messen.

Messungen an Mäusen Ein Durchbruch für die Wissenschaft: Denn die Messungen des Teams liefern erstmals umfassendste Informationen über den Einfluss neuer Wirkstoffe auf den Knorpel – und dank der Nanotechnologie können die Testreihen jetzt einfach an Gelenken von Mäusen statt an jenen von grösseren Versuchstieren durchgeführt werden. Die Knorpeldegeneration verläuft bei der Maus wie beim Menschen, allerdings in kürzerer Zeit. Selbst für die nur 1,5 Millimeter kleinen Hüftgelenke der Maus liefern die Messungen des NFS Nanowissenschaften exakte Werte der Knorpel elastizität.

Schon bald werden die ersten Messungen an Patienten starten können. Dazu wurde das Rasterkraftmikroskop für arthroskopische Eingriffe optimiert. Der Prototyp, unter Prof. Urs Stauter am Institut für Mikrotechnologie der Universität Neuenburg entwickelt, soll künftig am Kantonsspital Bruderholz zum Einsatz kommen: Dort wird dann Prof. Niklaus F. Friederich, Chefarzt für Orthopädie, schon kleinste krankhafte Knorpelveränderungen in Knie- und Hüftgelenk frühzeitig diagnostizieren können (siehe UNI NOVA 101/2005).

Bis zur Serienreife ist es vielleicht nur noch ein kleiner Schritt – doch für die Diagnostik wäre ein Meilenstein erreicht: Denn mit Nano-Instrumenten der neuen Generation könnten auch Krebszellen oder instabile Plaques in den Herzkranzgefässen, die als Auslöser von Infarkten gelten, frühzeitig erkannt werden. ■

Dr. Martin Stolz ist Postdoc im NFS Nanowissenschaften, Prof. Ueli Aebi Direktor am Maurice-E.-Müller-Institut für Strukturbiologie am Biozentrum der Universität Basel und Modulleiter im NFS Nanowissenschaften; beide arbeiten am beschriebenen Projekt.



Das arthroskopische Rasterkraftmikroskop im Test an einem Kniemodell. Der Prototyp soll bald zur Diagnose von Knorpelveränderungen in Knie- und Hüftgelenk eingesetzt werden.

Federbalken als Sensoren

Martin Hegner

Mit Hilfe kleinster Federbalken, wie sie auch in der Rasterkraftmikroskopie eingesetzt werden, können winzige Mengen an Proteinen, Nukleinsäuren oder anderen Substanzen nachgewiesen werden. Damit eröffnen sich neue Türen in der Proteomik, Genomik und Diagnostik.

Bei Rasterkraftmikroskopie tastet eine feine Spitze am Ende eines winzigen Federbalkens (Cantilever) die Oberfläche einer Probe ab und generiert so ein detailgenaues Bild. Einzelne Atome und Moleküle können so dargestellt werden, und chemische und physikalische Eigenschaften lassen sich messen. Wenn nun mehrere solche Cantilever in Reihe geschaltet und mit spezifischen Rezeptoren bestückt werden, lassen sich in kürzester Zeit verschiedene Verbindungen nachweisen, die an die Rezeptoren binden (siehe Bild). Diese auf Federbalken basierenden Sensoren können für die Erkennung von physikalischen, chemischen und biologischen Reaktionen eingesetzt werden. Jede Feder verbiegt sich je nach Art und Zahl der bindenden Moleküle.

Dass derartige Cantilever-Systeme hervorragend funktionieren, hat beispielsweise bereits NOSE, eine künstliche Nase, gezeigt. Hier werden gasförmige Substanzen wie Aromen in eine Probenkammer injiziert. Die einzelnen polymerbeschichteten Federbalken verbiegen sich nach der Interaktion je nach Substanz. Aus einem solchen individuellen Verbiegungsmuster mehrerer paralleler Federbalken lassen sich die unterschiedlichsten Substanzen mit hoher Bestimmtheit wiedererkennen. Diese Methode eignet sich gut für Qualitätskontrollen. Aber auch die Analyse flüchtiger Substanzen beispielsweise in der Atemluft von PatientInnen oder zur Erkennung von Schadstoffen ist möglich.

Neben verschiedenen flüchtigen Verbindungen lassen sich auch bestimmte DNA-Abschnitte oder Proteine mit Hilfe des Federbalkensystems schnell, präzise und ohne Markierung in kleinsten Mengen nachweisen.

Proteine als Marker In der Pharmaforschung und anderen Forschungszweigen nimmt die Untersuchung der Proteine einer Zelle oder eines Lebewesens in den letzten Jahren einen immer grösseren Stellenwert ein. Denn im Gegensatz zur Gesamtheit aller Gene – dem Genom – ist das Proteom – die Gesamtheit aller Proteine – sehr dynamisch und stark von äusseren Faktoren abhängig. Bei bestimmten Krankheiten verändert sich das Proteom, und auch bei Gabe eines Wirkstoffs kann die Zusammensetzung der Proteine einer Zelle in kurzer Zeit stark variieren. Um Veränderungen oder Reaktionen des Proteoms messen zu können, sind bisher aufwendige Analysen notwendig. Mit Hilfe der Federbalkentechnologie lassen sich diese aber deutlich vereinfachen und beschleunigen.

Nicht ganz einfach sind die Auswahl und Vorbereitung der Substanzen, die auf die Cantilever gebunden werden. Zur Analyse von Proteinen werden dazu vor allem Antikörper benutzt. Während jedoch vollständige Antikörper in unterschiedlicher Orientierung binden und auch vergleichsweise gross sind, ist es nun Wissenschaftlern der Universität Basel in Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität Zürich gelungen, Fragmente von Antikörpern gerichtet auf den Cantilevern zu immobilisieren (scFv-Fragmente). Die Fragmente besitzen im Gegensatz zu ganzen Antikörpern eine fünfmal kleinere molekulare Masse von nur 28 Kilodalton. Dadurch lässt sich eine grössere Dichte identischer Rezeptoren auf dem Balken immobilisieren, während die Bindungseigenschaften des Antikörpers erhalten bleiben.

ben. Mit diesem Verfahren konnten empfindliche Sensoren entwickelt werden, die mit anderen modernen Detektions-Technologien gleichziehen.

Antikörper zur Analyse Die zu erkennenden Moleküle müssen im Gegensatz zu anderen Methoden nicht markiert oder manipuliert werden. Die verschiedenen Sensoren unterscheiden sich nur in der funktionellen bindenden Schicht der Federbalken-Grenzfläche. Damit ist es leicht möglich, einen Referenzsensor zu integrieren, der störende Umwelteinflüsse (zum Beispiel Temperatur, optischer Brechungsindex) während der Messung kompensiert. Die gleiche Auslesemethode kann bei allen funktionellen Sensoren angewendet werden, und im Prinzip lässt sich jede Interaktion, die auf molekularer Erkennung basiert, als Messmethode implementieren. Eine grosse Kombination von verschiedenen parallelen Messungen

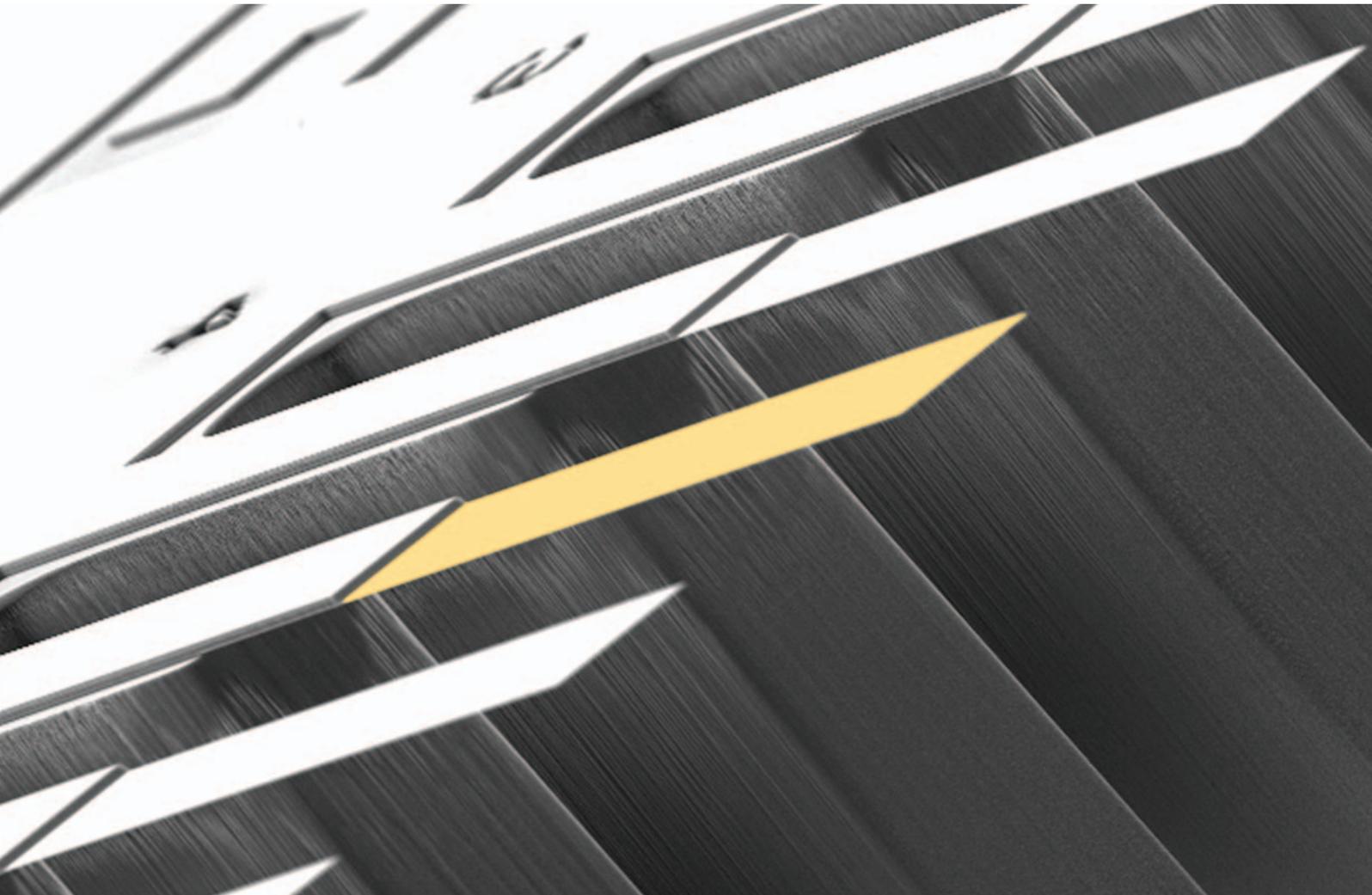
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Silizium-Federbalken-Sensoren. Ein einzelner Federbalken ist zur besseren Sichtbarkeit gelb eingefärbt. Die Breite eines Balkens entspricht mit 100 Mikrometern (μm) etwa jener eines dicken Haares. Acht Balken (Dimensionen: $100 \mu\text{m}$ Breite \times $500 \mu\text{m}$ Länge und $0,5 \mu\text{m}$ Dicke) sind in einer Reihe mit einem Abstand von je $250 \mu\text{m}$ angeordnet. Die Balkendicke ist mit hier 500 Nanometern (nm) ein massgebender Parameter für die Empfindlichkeit des Sensors. Wenn die Dicke durch Mikrofabrikation auf unter 100 nm reduziert wird, resultiert eine weitere Sensitivitätsverbesserung um mehrere Grössenordnungen. Mit heutigen Mikrofabrikationsmethoden lassen sich über 1000 Federbalken pro Chip generieren (Bild: NFS).

ist möglich. In Zukunft werden tragbare Messgeräte zur Verfügung stehen, die mobil direkt vor Ort im Einsatz stehen können.

Zurzeit testen Wissenschaftler in Basel bereits verschiedene Anwendungen, welche die Flexibilität der Federbalkentechnologie zum Ausgangspunkt nehmen. So wird beispielsweise untersucht, wie verschiedene PatientInnen auf medikamentöse Therapien reagieren. Die Moleküle, die der Körper als Reaktion auf den Wirkstoff ausschüttet, können in der Zukunft schnell und ohne grosse Aufbereitung direkt am Krankenbett gemessen werden. Daneben erlaubt der Einsatz von Federbalken auch den schnellen, unkomplizierten Nachweis von Viren oder Mikroorganismen. Eine Anwendung in der klinischen Diagnostik sowie in der Qualitätskontrolle für Lebensmittel und in der Pharmaindustrie ist damit denkbar.

Um eine solche Vielfalt von verschiedenen Sensoren und Geräten zu entwickeln, ist eine stark interdisziplinäre Grundlagenforschung notwendig. Diese Bedingungen sind an der Universität Basel vorhanden und ermöglichen es den beteiligten Forschern, weltweit an der Spitze mitzumischen. ■

PD Dr. Martin Hegner ist Projektleiter im NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel.



Der Natur abgesehen

Wolfgang Meier und Andreas Taubert

Eines der faszinierendsten Phänomene der Nanowelt ist die Selbstorganisation von Molekülen. Dabei ordnen sich die Moleküle je nach physikalischen und chemischen Eigenschaften zu einem spezifischen Muster an – wie von Geisterhand dirigiert. Dieses Phänomen lässt sich vielfältig nutzen.

Mit modernen Synthesemethoden lassen sich Makromoleküle herstellen, die je nach Eigenschaften der Einzelkomponenten für verschiedene Zwecke eingesetzt werden können. Im NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel werden zum Beispiel amphiphile Blockcopolymere untersucht. Diese chemischen Verbindungen bestehen aus mindestens einer hydrophilen (wasseranziehenden) und einer hydrophoben (wasserabstossenden) Polymerkette, die fest miteinander verknüpft sind. Wegen der unterschiedlichen Löslichkeit der beiden Ketten neigen die resultierenden Moleküle in wässrigen Medien zur Bildung selbstorganisierter Überstrukturen. Die hydrophilen Molekülteile schirmen dabei die hydrophoben Teile so weit wie möglich vom umgebenden Wasser ab.

So lassen sich unter bestimmten Bedingungen formstabile Objekte mit charakteristischen Dimensionen im Nanometerbereich erzeugen. Es können zum Beispiel Nanoröhren mit rund 50 nm Durchmesser und mehreren Mikrometern Länge hergestellt werden. Im Gegensatz zu den bekannten Kohlenstoffnanoröhren handelt es sich hier aber um flexible, wassergefüllte Strukturen, die als miniaturisierte «Transportleitungen» eingesetzt werden können. Ganz ähnlich lassen sich auch gummielastische Membranen von nur einigen Nanometern Dicke oder mechanisch stabile nanometer- bis mikrometergrosse Kapseln herstellen. Vor allem Blockcopolymerkapseln finden in letzter Zeit zunehmendes Interesse in der Pharmaforschung, denn sie transportieren den Wirkstoff gezielt zum gewünschten Organ und setzen dann den Wirkstoff kontrolliert frei.

Künstliche Membranen Die Wände dieser Containersysteme werden von Blockcopolymer-Membranen gebildet, die als primitive Nachahmung biologischer Membranen betrachtet werden können. Sie sind jedoch nicht nur mechanisch erheblich stabiler und chemisch inerte als die Lipiddoppelschichten biologischer Zellmembranen, sondern wegen der grösseren molekularen Dimensionen der zugrunde liegenden Polymere auch etwa zwei- bis viermal dicker.

Die Zellmembran biologischer Zellen spielt eine wichtige Rolle für die Kompartimentierung und den Schutz der Zelle. Gleichzeitig sind integrale Membranproteine in sie eingelagert, die den Transport in und aus der Zelle sowie deren Kommunikation mit der Umgebung kontrollieren. Viele dieser Proteine können als hoch spezialisierte molekulare Systeme betrachtet werden, deren Funktion die Natur über Jahrtausende optimiert hat. Membranproteine sind daher auch für technische Anwendungen interessant, beispielsweise als Biosensoren, zur Energieumwandlung oder als molekulare Maschinen.

Nanoreaktor für Enzyme Kürzlich konnten wir erstmals zeigen, dass solche Membranproteine auch in künstliche Blockcopolymer-Aggregate eingebaut werden können. Trotz der enormen Dicke und Stabilität der polymeren Membran bleibt dabei die Funktionalität der Membranproteine erhalten. Dies liegt vermutlich an der hohen Flexibilität der verwendeten Blockcopolymere, die – ähnlich wie Gummi – ohne grössere Energieverluste lokal deformiert werden können und sich so an die Dimensionen der Proteine anpassen. Die resultierende aussergewöhnliche Kombination von Eigenschaften macht solche Polymer-Protein-«Chimärenmembranen» zu Kandidaten für zahlreiche Anwendungen.

So können sie zum Beispiel zur Herstellung von Nano- und Mikroreaktoren verwendet werden. In solchen Reaktoren können Enzyme eingeschlossen und so vor dem Abbau durch Pro-

teasen, unspezifischer Adsorption an Oberflächen oder Selbstenaturierung infolge zu hoher Verdünnung geschützt werden. Die stabilen Polymermembranen der Container gewährleisten dabei eine konstante Umgebung für die verkapselten Moleküle über lange Zeiträume. Die Moleküle werden in einem kleinen definierten Volumen bewahrt, in dem ihre Aktivität sogar auf Einzelmolekülebene verfolgt werden kann. Der Austausch mit dem umgebenden Medium kann durch Kanalproteine kontrolliert werden. Diese lassen zwar kleine Moleküle passieren, nicht aber grosse Enzyme.

Bestimmte Kanalproteine können dabei als Schalter verwendet werden, da sie sich durch äussere Reize verschliessen. Durch diesen Schaltmechanismus lassen sich die Nanoreaktoren aktivieren oder deaktivieren. Darüber hinaus kann durch geeignete Wahl des vorgeschalteten Kanalproteins die Selektivität eines verkapselten Enzyms erhöht werden. Dabei sortiert der Kanal die Substratmoleküle nach gewissen Selektionskriterien (wie Grösse, Polarität, Händigkeit) vor und erlaubt nur den gewünschten Molekülen Zugang zum Enzym.

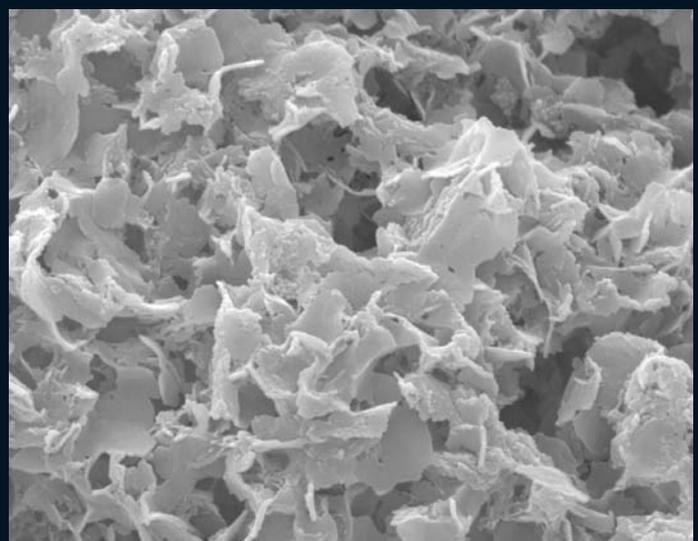
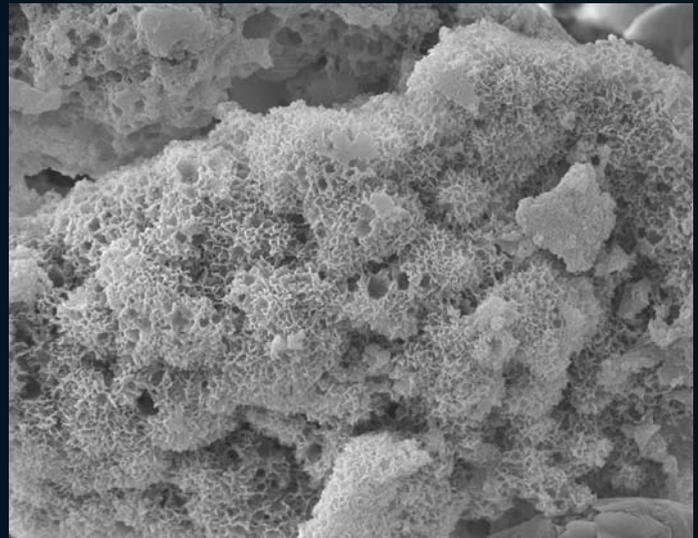
Knochenfabriken der Zukunft Die Konzentration bestimmter Substanzen im Innern der Nanocontainer lässt sich durch den Einsatz geeigneter Membranproteine zeitlich und lokal kontrollieren. So kann man etwa das Wachstum kleiner Kristalle untersuchen. Da die Blockcopolymeren in den Wänden der Container biokompatibel und teilweise bioabbaubar sind und oft mit anorganischen Kristallen in Wechselwirkung stehen, können auch kombinierte Systeme mit organischen und anorganischen Komponenten hergestellt werden.

Erste Versuche haben gezeigt, dass Polymervesikel als räumlich eingeschränkte Nanofabriken zur Herstellung von Kalziumphosphat(CaP)-Partikeln mit einer Polymerhülle dienen können. CaP ist von Interesse, da es tierischen und menschlichen Knochen die Härte verleiht. Auf den ersten Versuchen aufbauend, werden zurzeit modifizierte Strukturen untersucht, welche die Kristallisation von CaP besser kontrollieren können. Ausserdem ist ein aktuelles Ziel, nicht nur Nanokugeln aus CaP zu erzeugen, sondern auch grössere, poröse Strukturen herzustellen.

Poröse Polymer/Kalziumphosphat-Nanokomposite könnten im Bereich Knochenersatz oder Knochenaufbau und -reparatur eingesetzt werden. Wenn sie eine gewisse Kristallgrösse und Porosität besitzen, werden sie vom Körper wie echter Knochen aufgenommen: Es kommt nicht zu Abstossungsreaktionen. Im Gegensatz dazu bleiben konventionelle Implantate etwa aus Titan immer ein Fremdkörper, der im ungünstigsten Fall alle paar Jahre ausgetauscht werden muss. Die neuen «biomimetischen» – von der Natur abgeschauten – Materialien bieten viele Vorteile und könnten den Bedarf an wiederholten Operationen stark reduzieren. ■

Prof. Wolfgang Meier ist Ordinarius für Chemie an der Universität Basel und Modulleiter im NFS Nanowissenschaften. Dr. Andreas Taubert ist Gruppenleiter im Departement Chemie; er wird in Kürze eine von der Max-Planck-Gesellschaft unterstützte Assistenzprofessur für Supramolekulare Chemie an der Universität Potsdam antreten.

Fast wie echte Knochen: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Kalziumphosphaten mit knochenartiger Struktur (Bilder: NFS).



Antennen für Licht

Bert Hecht, Peter Mühlshlegel, Olivier J.F. Martin, Hans-Jürgen Eisler und Dieter W. Pohl

Licht nutzbar machen – mit optischen Datenspeichern wie der DVD und der Datenübertragung im Internet per Glasfaserkabel ist das heute schon Realität. Doch weit mehr ist möglich, wenn die elektromagnetischen Wellen des Lichts optimal gesendet und empfangen werden können. Basler Wissenschaftler bringen diese Schlüsseltechnologie einen grossen Schritt weiter.

Mit der fortschreitenden Nutzung von Licht steigt das Bedürfnis, seine Ausbreitung besser zu verstehen und zu manipulieren. Der allgegenwärtige Trend zur Miniaturisierung und die damit verbundene Möglichkeit zur Massenfertigung stellen hier kreative Forscher vor ganz neue Herausforderungen. Licht als Spielart elektromagnetischer Strahlung lässt sich nämlich nicht ohne weiteres auf beliebig kleine räumliche Bereiche unterhalb der halben Wellenlänge (300 Nanometer) einschränken. In Zukunft werden wir jedoch optische Chips brauchen, die eine riesige Menge von optischen Signalen auf engstem Raum direkt, parallel und ohne umständliche Umwandlung in elektrische Spannungen verarbeiten und weiterleiten. An neuen Technologien und Materialien dafür wird heute weltweit intensiv geforscht.

Wie Radiowellen Ein Team von Forschern aus Basel und Lausanne hat nun eine Idee realisiert, die sich als äusserst wichtig für diese Entwicklung erweisen könnte: eine Antenne für Licht. Im Bereich der Radiowellen mit ihren makroskopischen Wellenlängen werden makroskopische Antennen eingesetzt, um Strahlung effizient einzufangen und in Kabel einzuspeisen. Radiosender verwenden grosse Antennen, um Radiowellen effizient in die Umgebung abzustrahlen. Eine Antenne für Licht könnte die Schnittstellen darstellen, mit Hilfe derer zukünftige hochintegrierte optische Chips optische Signale aufnehmen und nach der Verarbeitung auch wieder abgeben können.

Die Herstellung dieser spannenden Strukturen erfordert den massiven Einsatz von Mikro- und Nanofabrikationsmethoden. Die optimale Länge einer Antenne für Licht liegt nämlich, wie bei ihren grossen Geschwistern aus der Welt der Radiowellen, etwa bei der halben Wellenlänge. Diese beträgt für Licht nur zwischen 400 und 800 Milliardstel Meter. In ersten weltweit beachteten Experimenten konnten die Basler Forscher beweisen, dass sich diese Nano-Antennen tatsächlich ähnlich wie ihre grossen Schwestern verhalten.

Vielfältige Anwendungen Neben diesen möglichen Anwendungen in der Telekommunikation gibt es eine Vielzahl von Ideen für weitere Einsatzgebiete optischer Antennen. Zum Beispiel plant das Team die Entwicklung eines neuartigen optischen Mikroskops, das einzelne fluoreszierende Moleküle mit Auflösungen im Bereich von wenigen Nanometern sichtbar machen könnte. Ein solches Mikroskop wäre nicht nur für die Biologie und Medizin so etwas wie der Stein der Weisen.

Weiterhin wird spekuliert, ob sich mit Hilfe von optischen Antennen neuartige Lichtquellen herstellen lassen, die mit hoher Effizienz jeweils nur ein einzelnes Photon nach dem anderen aussenden würden. Solche Lichtquellen sind zum einen von grossem Interesse für die Entwicklung von abhörsicheren quantenmechanischen Verschlüsselungsverfahren. Zum anderen könnten sie für die Entwicklung von Quantencomputern wichtig werden. ■

Prof. Bert Hecht hat eine Förderungsprofessur des Schweizerischen Nationalfonds an der Universität Basel inne und ist Projektleiter im NFS Nanowissenschaften. Dr. Peter Mühlshlegel, PD Dr. Hans-Jürgen Eisler und Prof. Dieter W. Pohl sind innerhalb des NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel als wissenschaftliche Mitarbeiter tätig, Prof. Olivier J.F. Martin ist Professor an der ETH Lausanne.

Netzwerke, die sich selbst aufbauen

Meike Stöhr und Hannes Spillmann

Heute soll vieles besser, schneller und vor allem kleiner werden. Sich selbst aufbauende Netzwerke aus Molekülen können die fortschreitende Miniaturisierung einen entscheidenden Schritt voranbringen.

Die Miniaturisierung in Materialwissenschaft und Technologie ist heute so weit fortgeschritten, dass die Eigenschaften der eingesetzten Materialien stark von Struktur und Organisation einzelner Moleküle und Atome abhängen. Multifunktionale molekulare Materialien sind daher stark im Fokus der aktuellen interdisziplinären Forschung in Physik, Chemie und Biologie. Mit bisher bekannten Methoden ist es aber kaum möglich, die benötigten Strukturen gezielt herzustellen. Es wird daher intensiv an neuartigen Verfahren geforscht, die eine kontrollierte Herstellung von molekularen Materialien im Nanometerbereich erlauben. Vor allem müssen funktionale Einheiten wie Atome oder Moleküle in einer repetitiven und räumlich geordneten Struktur mit Nanometer-Präzision angeordnet werden können.

Vorbild Natur Die Natur selbst liefert dabei einen viel versprechenden Ansatz: Sämtliche Lebewesen entwickeln sich im so genannten «Bottom-up»-Verfahren. Dabei fügen sich einzelne Grundbausteine (Moleküle) in einem mehrstufigen Prozess selbstgesteuert zu komplexeren Funktionseinheiten und letztlich zum Lebewesen zusammen. Dieses Bauprinzip findet in der Supramolekularen Chemie schon seit längerer Zeit Anwendung. Durch Selbstorganisation fügen sich einzelne, gezielt funktionalisierte Moleküle (Bausteine) unter geeigneten Bedingungen spontan zu komplexen supramolekularen

Einheiten (Nanostrukturen) zusammen. Die verwendeten Moleküle können dabei gezielt gestaltet oder modifiziert werden. Es lassen sich somit vielfältige Abwandlungen der daraus gebildeten Nanostrukturen erzielen. Aus technologischer Sicht ist es jedoch unabdingbar, solche Nanostrukturen gezielt auf Oberflächen zu immobilisieren. Nur so lassen sie sich mit Hilfe von Rastersondenmikroskopen auf molekularer Skala abbilden und können ihre physikalischen oder chemischen Eigenschaften untersucht werden.

In Zusammenarbeit mit Forschungspartnern der ETH Zürich und der Universität Heidelberg werden am Institut für Physik der Universität Basel geeignete molekulare Bausteine auf ihr Selbstorganisationsverhalten auf atomar glatten Metalloberflächen untersucht. Spezielles Augenmerk wird dabei auf die Herstellung von porösen Nanostrukturen gelegt. Ebenso wie die aus der makroskopischen Welt bekannten porösen Materialien (in Luft-, Russ- und Ölfiltern, Isoliermaterialien, Schwämmen oder als Katalysatoren in chemischen Prozessen) sind poröse Nanostrukturen auf Metalloberflächen durch geordnete Leerräume charakterisiert, die in der Lage sind, Partikel oder Gastmoleküle aufzunehmen und zu «beherbergen».

Weich und beweglich Als Bausteine für die Selbstorganisation werden verschiedenartige Moleküle verwendet, deren physikalisch-chemische Eigenschaften die Struktur und Eigenart der daraus gebildeten Nanostrukturen definieren. So ist es durch den Einsatz von relativ grossen und flexiblen Porphyrin-Molekülen möglich, «weiche» nanoporöse Netzwerke zu bilden, die sich bei der Aufnahme von Gastmolekülen verformen. Die gebildeten Poren mit einem Durchmesser von etwa 1,2

Nanometern erlauben etwa die Aufnahme von exakt einem C_{60} -Fussball-Kohlenstoff-Molekül pro Pore.

Verwandte der hier verwendeten Porphyrin-Moleküle spielen auch in physiologischen Prozessen wie dem Sauerstofftransport im Blutkreislauf eine wichtige Rolle. Die Adsorption der Gastmoleküle in den Poren ist dabei ein reversibler Prozess: Bei Zimmertemperatur bewegen sich die Fussballmoleküle von Pore zu Pore. Durch Erhöhen der Umgebungstemperatur lassen sie sich gänzlich daraus entfernen. Mit zunehmender Besetzung mit Gastmolekülen verformt sich das Netzwerk. Dies führt zu anziehenden Wechselwirkungen zwischen benachbarten Poren – Gastmolekül-Inseln und -Ketten werden gebildet. Vor allem bei einem potenziellen Einsatz solcher Nanostrukturen als Träger für chemische Reaktionen könnte dies von Interesse sein, da sich die Reaktionspartner selbständig aufeinander zu bewegen und so unter Umständen die Geschwindigkeit der Reaktion erhöhen.

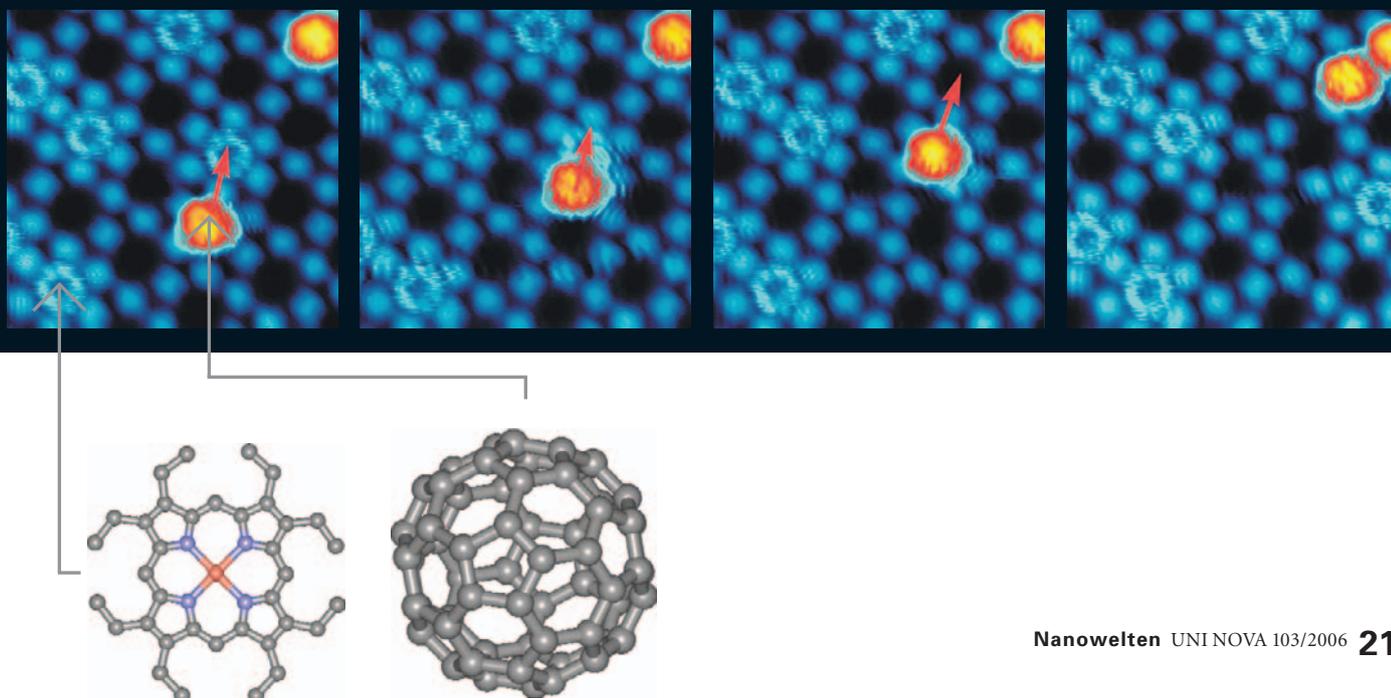
Starr und stabil Bei Verwendung von starren, modifizierten Perylen-Molekülen bilden sich im Gegensatz zu den flexiblen Porphyrin-Molekülen äusserst rigide nanoporöse Netzwerke aus, die wesentlich grössere Poren mit einem Durchmesser von etwa 2,5 Nanometer aufweisen (siehe Bild). Jede Pore kann

In die offenen Poren des Netzwerkes wurden Fussball-Kohlenstoff-Moleküle (C_{60}) und Porphyrine gebracht. Durch gezielte Manipulation mittels einer Rastertunnelmikroskop-Spitze lassen sich die C_{60} -Moleküle von einer Wabe in die nächste schieben und auf Porphyrinmolekülen platzieren. Es wird so eine Art Nano-Kugellager geschaffen (Bild: NFS).

somit bis zu drei C_{60} -Fussball-Kohlenstoff-Moleküle aufnehmen, jedoch auch andere Moleküle wie Porphyrine. Die Grundfläche der Poren wird in diesem Netzwerk durch die unterliegende Metalloberfläche gebildet. Der direkte Kontakt mit dieser Metalloberfläche führt in den Poren zu einer starken Adsorption der Gastmoleküle. Dies ist für die weiterführende Konstruktion von komplexeren nanostrukturierten Materialien von Vorteil, da die Diffusion der Gastmoleküle bei Raumtemperatur stark vermindert ist. Es ist so möglich, die Gastmoleküle auf gewünschte Weise in den Poren anzuordnen. Zudem können die Gastmoleküle mit Hilfe einer Rastertunnelmikroskop-Spitze von einer Pore in die andere verschoben werden und damit zur Speicherung von Information genutzt werden.

Abgesehen von Anwendungsmöglichkeiten in der chemischen Katalyse oder als winzige Container für chemische Reaktionen, weisen die hergestellten Netzwerke auch ein grosses Potenzial für die regelmässige Anordnung von Biomolekülen in miniaturisierten biochemischen Sensoren auf. Ebenso erforschen Basler Wissenschaftler die Anwendung als Datenspeicher mit enorm hohen Speicherdichten oder als molekular-elektronische Schaltelemente. Dafür werden von den Forschungspartnern gezielt Gastmoleküle entwickelt, die sich durch externe Anregung, etwa durch die Spitze des Rastertunnelmikroskops, zwischen zwei stabilen Zuständen umschalten lassen. ■

Dr. Hannes Spillmann und Dr. Meike Stöhr sind Postdocs im NFS Nanowissenschaften an der Universität Basel.



Schaltende Moleküle

Christian Schönenberger, Michel Calame, Marcel Mayor

Wie klein kann das kleinstmögliche elektrische Schaltelement sein? Genügt ein einzelnes Molekül? Welche Eigenschaften muss es erfüllen? Fragen, denen Basler Nanoforscher nachgehen.

Wir können uns heute den Konzertsaal nach Hause holen und beim Joggen oder im Tram Musik in höchster Qualität genießen – für viele von uns ist das ganz normal. Möglich wurde dies aber erst durch viele kluge und kreative Köpfe, die den Technologiefortschritt ermöglicht haben. Statt Phonograph, Plattenspieler und empfindlicher Vinyl-Schallplatten verschaffen uns heute CDs und iPods jederzeit und überall Musikgenuss in bester Qualität. Dass diese Geräte so handlich, praktisch und leistungsfähig sind, verdanken wir in grossem Mass den Entwicklungen der Elektronik.

Begonnen hat die elektronische Revolution mit den Vakuumröhren (Trioden): Zwischen zwei Elektroden, der Kathode und der Anode, fliesst hier ein von der heissen Kathode emittierter Elektronenstrom, der von einer Steuerelektrode geregelt werden kann. Mitte des 20. Jahrhunderts wurde dann der Transistor erfunden, bei dem Elektronen in Halbleitermaterialien in Bewegung versetzt und gesteuert werden. Der Transistor bot enorme Vorteile gegenüber der Vakuumröhre und wurde rasch weiterentwickelt. Als neues, vereinfachendes Fertigungskonzept kam später die Integration hinzu: Dabei werden einzelne, immer kleiner werdende Bauelemente zusammen auf einer Platine untergebracht, auf der elektrische Verbindungen bereits vorgefertigt sind. Durch lithographische Fabrikationstechniken wurde es möglich, viele Bauelemente zusammen mit den erforderlichen Verbindungen direkt auf einer dünnen Siliziumscheibe (genannt «Chip» oder Integrated Circuit, IC) zu fertigen.

Heute werden Millionen Transistoren mit unzähligen Verbindungsleitungen auf einem Chip integriert. Ein einzelner Tran-

sistor hat dabei nur noch eine Kantenlänge von etwa hundert Nanometern. Die lineare Grösse der elektronischen Bauelemente halbiert sich heute ungefähr alle drei Jahre. Wie lange diese Miniaturisierung noch fortschreitet, ist unter Fachleuten umstritten. Etliche Wissenschaftler kümmern sich jedoch nicht darum, wie viele Jahre es in diesem Tempo weitergeht, sondern versuchen, die Grenzen auszuloten und zu umschiffen.

Wo sind die Grenzen? Auf jeden Fall stellt sich die Frage, ob und welche fundamentalen physikalischen Grenzen für das kleinste elektronische Bauelement gelten. So verlangt etwa die Thermodynamik, dass eine bestimmte Wärme bei der Informationsverarbeitung auftreten muss. Gibt es zu viel davon auf kleinem Raum, überhitzt sich die Elektronik. Von dieser «Entropie-Grenze» sind wir aber noch weit entfernt. Man könnte auch denken, dass durch die Kleinheit der Bauelemente die Quantenmechanik immer mehr ins Spiel kommen wird. Das stimmt zwar, stellt aber keine fundamentale Grenze dar. Im Gegenteil: Neuste Untersuchungen zeigen, dass die Quantenmechanik das Rechnen sogar effektiver machen kann. Der 1999 verstorbene Physiker Rolf Landauer sagte treffend: «Computation is physical.» Damit wollte er betonen, dass «Computation» nicht auf dem Papier stattfindet, sondern dass man die Bits und Bytes in einem physikalischen System zu realisieren hat.

Dieser Aspekt wird (leider) zunehmend vergessen, nicht nur in der Elektronik, sondern neuerdings auch in der Biologie. Computation findet in Materie statt – in der heutigen Elektronik noch immer in Silizium. Ein Atom ist dann in etwa die kleinste Materieeinheit, die wir uns als Bit vorstellen könnten. Es ist allerdings schwer vorstellbar, wie innerhalb eines Atoms Funktionen realisiert werden können. Für Moleküle lässt sich dies eher vorstellen, zudem können identische Moleküle in grossen Mengen durch chemische Synthese hergestellt werden. Es ist

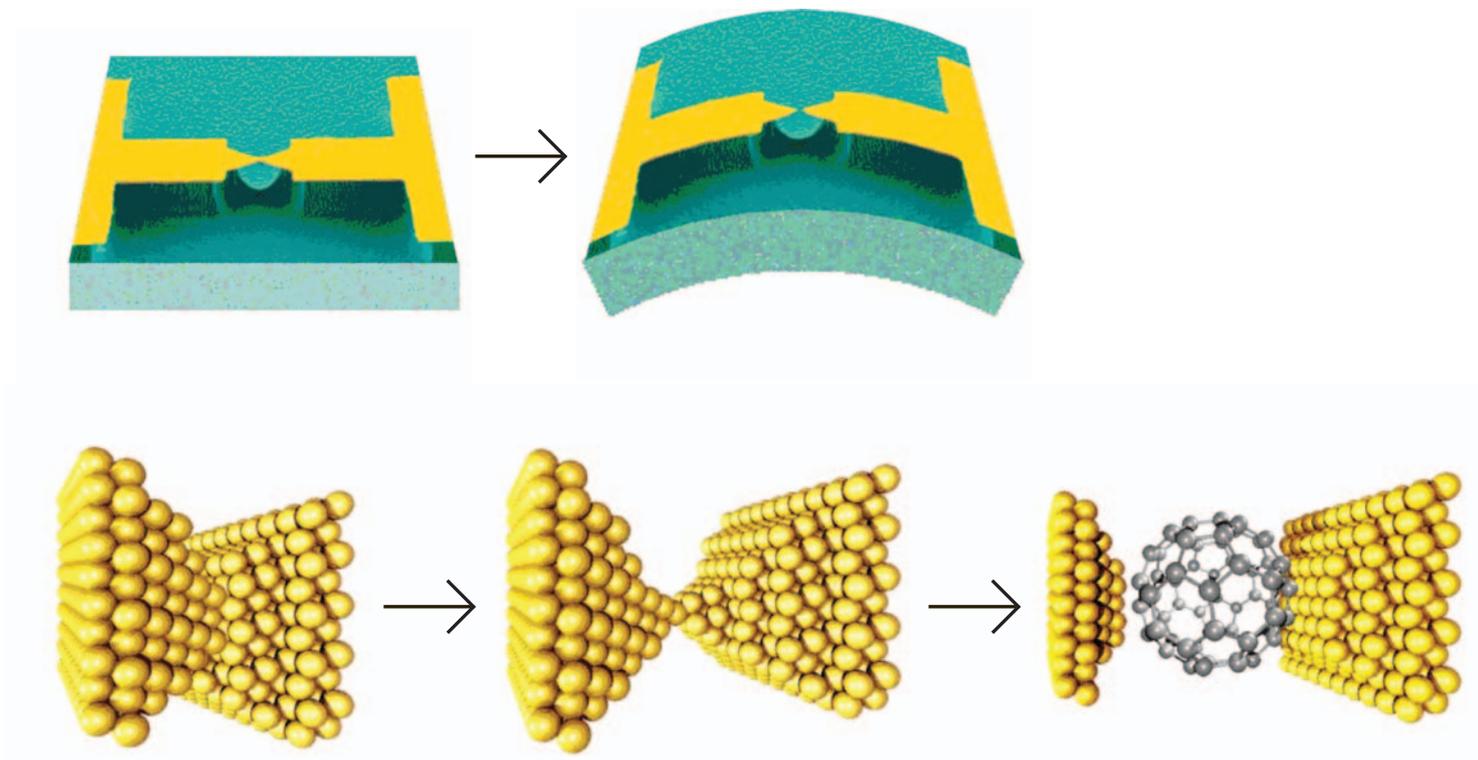
jedoch wegen ihrer geringen Grösse eine enorme Herausforderung, elektrische Messungen mit einzelnen Molekülen durchzuführen.

Im NFS Nanowissenschaften befasst sich ein interdisziplinäres Team aus Physik und Chemie mit der zentralen Frage: Ist Elektronik basierend auf Molekülen möglich und was für Funktionen können realisiert werden? So lässt sich etwa ein optisch gesteuertes Molekül als Schalter benutzen. In diesem Forschungsprojekt ist die Wechselwirkung zwischen Physik und Chemie von grösster Bedeutung: Ideen für neuartige Funktionen müssen zum einen der chemischen Synthese zugänglich sein und zum anderen einen möglichst grossen physikalischen Effekt liefern. Diese Arbeit ist keineswegs mit der Suche nach der Nadel im Heuhaufen zu vergleichen, sondern viel eher der Versuch, geeignete molekulare Einheiten zu «designen», zu synthetisieren, zu testen und zu verbessern. Von der Idee auf dem Papier bis zum Resultat müssen aber viele Hürden überwunden werden.

Durch das gezielte Verbiegen von vorstrukturierten Gold-Elektroden (oben) können zwei Goldspitzen geformt werden, deren Abstand so präzise einstellbar ist, dass das zur Messung ausgewählte Molekül genau dazwischen passt (unten) [Bilder: NFS].

Brücke aus Golddraht Schwierig ist zunächst die elektrische Charakterisierung eines Einzelmoleküls. Um zu überprüfen, ob es die ihm zugedachte Funktion erfüllt, müssen elektrische Messungen durchgeführt werden – heute noch eine enorme Herausforderung, denn die Resultate sind oft ungenau oder nicht reproduzierbar. Um Einzelmoleküle zu charakterisieren, gibt es verschiedene Ansätze, die zurzeit in verschiedenen Laboratorien weltweit entwickelt werden.

Die so genannte Bruchkontakt-Technik wird auch in Basel vorangetrieben: Zunächst wird ein dünner elektrischer Leiter aus Gold mit einer winzigen Verjüngung (<1 Mikrometer) in der Mitte hergestellt (Bild, gelb). Der Golddraht liegt auf einer dünnen Polymerschicht (grün), die durch ein Ätzverfahren partiell entfernt wird. Der Golddraht wird dadurch unterätzt, und es entsteht eine dünne Goldbrücke im Nanometerbereich. Da das Trägermaterial flexibel ist, kann diese Struktur nun mechanisch kontrolliert verbogen werden. In der Goldbrücke entsteht eine Zugspannung, die zu einem Einschnüren und letztlich zum Bruch führt. Eine atomar kleine Lücke entsteht. Diese lässt sich durch unterschiedliche Biegung in ihrer Grösse variieren.



Im nächsten Schritt werden Moleküle in einem Lösungsmittel zugeführt. Durch wiederholtes leichtes Vergrössern oder Verkleinern des Abstands wird versucht, die exakt passende Lückengrösse für die Moleküle zu finden. Damit dies relativ zuverlässig funktioniert, werden spezielle Molekülgruppen an den Enden der Moleküle angebracht. Diese Gruppen sorgen durch chemische Bindung für eine Verankerung der Moleküle. Wenn ein Molekül eine Verbindung der Brückenteile erzielt hat, können der elektrische Widerstand und seine Abhängigkeit von verschiedenen Grössen wie Licht, Redoxpotenzial, Temperatur und Vibrationszustand ermittelt werden.

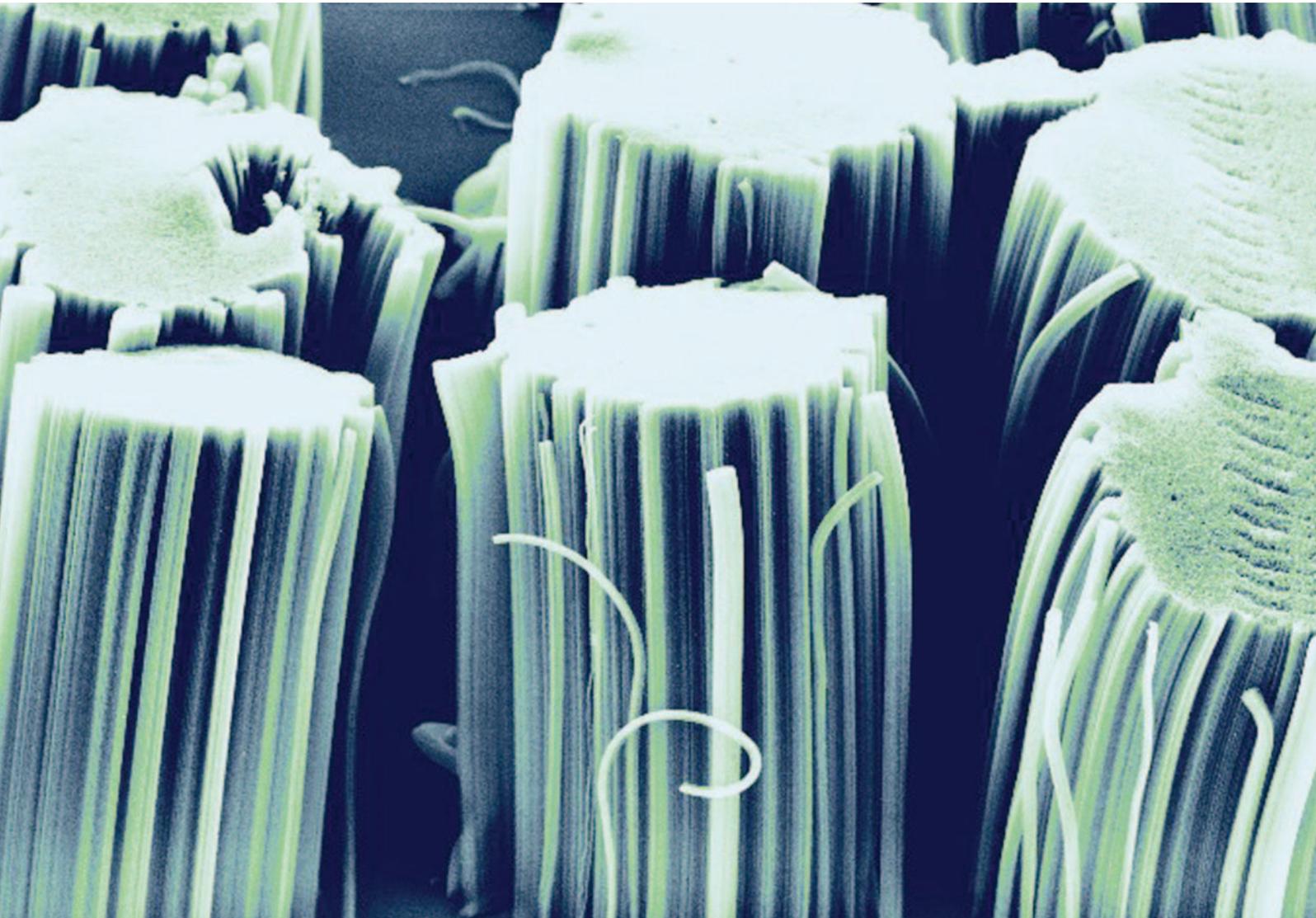
Diese Form der «molekularen Elektronik» steht ganz am Anfang, obwohl die Bezeichnung bereits seit vielen Jahren besteht. Sie steht für alle Anwendungen, in denen elektrische und optische Funktionen durch Moleküle erzielt werden. Davon gibt es heute bereits sehr viele: LCD-Bildschirme basieren auf Molekülen, die für sich selbst ein hoch technologisches Produkt darstellen, in dem enorm viel an Innovation steckt. Weiter zu

Kohlenstoff-Nanoröhrchen gehören zu den Untersuchungsobjekten der molekularen Elektronik.

erwähnen sind organische Leuchtdioden, die bald in grossen Mengen auf den Markt kommen werden, und flexible Elektronik, basierend auf elektrisch leitenden Polymeren.

Hier stellen wir die ultimative Form der «molekularen Elektronik» vor, in der eine Funktion durch ein einziges Molekül repräsentiert wird. Wir stehen in der Tat am Anfang und kämpfen uns (noch) recht langsam von Problem zu Problem. Die Geschichte der Halbleiterphysik lehrt aber, dass wir uns dadurch nicht aufhalten lassen sollten: In ihren Anfangsjahren war es noch sehr schwierig, aussagekräftige Resultate zu gewinnen, da die Materialien noch nicht in reiner Form erhältlich und die gefundenen Effekte oft schwer reproduzierbar waren. Der berühmte Physiker Wolfgang Pauli soll die Halbleiterphysik einmal mit der Bemerkung abgetan haben: «Halbleiter sind schmutzig, und im Schmutz soll man nicht wühlen.» Zum Glück gibt es aber immer wieder Unverbesserliche, die es nicht lassen können, im Dreck zu wühlen ... ■

Prof. Christian Schönenberger ist Ordinarius für Physik an der Universität Basel sowie Direktor und Modulleiter des NFS Nanowissenschaften, Dr. Michel Calame ist Projektleiter im NFS Nanowissenschaften und Prof. Marcel Mayor Extraordinarius für Chemie an der Universität Basel und Projektleiter im NFS Nanowissenschaften.



Schneller rechnen

Jörg Lehmann und Daniel Loss

Eine der faszinierendsten Perspektiven der Nanowissenschaften ist, sich die Eigenschaften der Materie direkt nutzbar zu machen. Wohl am radikalsten ist die Idee, mit Hilfe der Gesetze der Quantenmechanik einen vollkommen neuartigen Rechnertyp zu bauen – den Quantencomputer.

Ein Quantencomputer würde bei der Lösung bestimmter Probleme selbst die leistungsfähigsten Supercomputer weit hinter sich lassen. Der entscheidende Trick dabei: Er verwendet nicht wie heutige Computer Nullen und Einsen (Bits), sondern beliebige «quantenmechanische Überlagerungen» (Qubits). Ein solches Qubit beschreibt eine Art Zwitterzustand, der gleichzeitig sowohl eine Null als auch eine Eins darstellt. Diesen zusätzlichen Freiheitsgrad ausnützend, könnte ein Quantencomputer die Lösung von Problemen ermöglichen, die mit heutigen klassischen Computern praktisch nicht zu bewältigen sind. Das bekannteste Beispiel ist die Zerlegung von Zahlen in ihre Primfaktoren. Die Zeit, welche die besten klassischen Algorithmen dafür benötigen, steigt exponentiell mit zunehmender Zahl der Ziffern an. Für grosse Zahlen ist somit eine Primfaktorzerlegung kaum mehr möglich. Dies mag zunächst wie eine rein mathematische Spielerei klingen, ist es aber beileibe nicht: Die Verschlüsselungsverfahren für den Datenverkehr im Internet, wie sie etwa beim Online-Banking verwendet werden, basieren auf der praktischen Unmöglichkeit der Primfaktorzerlegung. Quantencomputer würden also diese Verfahren auf einen Schlag unbrauchbar machen.

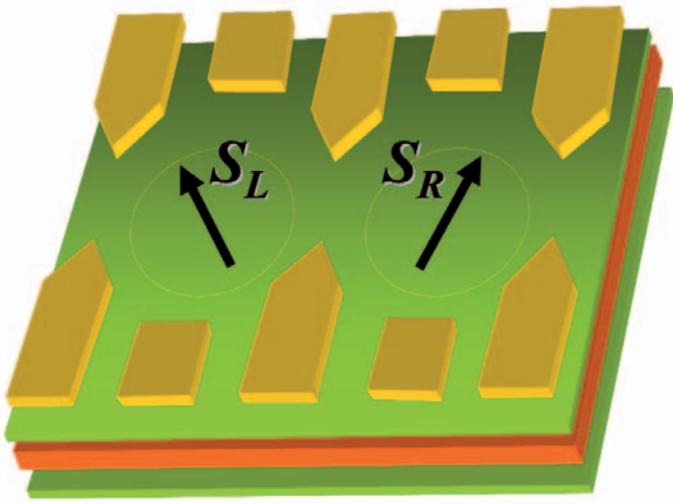
Künstliche Atome So weit die seit mehr als zwanzig Jahren bekannte Theorie. Doch in der Praxis ergeben sich beim Bau eines Quantencomputers eine Vielzahl von Problemen, die vor allem damit zusammenhängen, dass der Quantenzustand des Computers nicht durch Störeinflüsse aus der Umgebung beeinträchtigt werden darf. Besonders kritisch ist dabei ein als

Dekohärenz bezeichneter Vorgang, der die quantenmechanische Überlagerung zerstört und damit das Qubit zurück in ein gewöhnliches Bit verwandelt. Geschieht dies bereits während des Rechenvorgangs, ist der gesamte Vorteil des Quantencomputers wieder verloren. Deshalb ist die entscheidende Frage, ob sich geeignete physikalische Implementierungen finden lassen, die weitgehend robust gegenüber Dekohärenzvorgängen sind.

Hier setzt der Loss-DiVincenzo-Vorschlag aus dem Jahr 1998 an: Der Spin von Elektronen (siehe Bild), die in Halbleiter-Quantenpunkten eingefangen werden, sollte eine weitgehend störungsempfindliche Realisierung eines Qubits darstellen. Ein solcher Quantenpunkt ist dabei eine Art künstliches Atom, dessen Eigenschaften – im Gegensatz zu seinem echten Pendant – problemlos elektronisch beeinflusst werden können. Zudem lassen sich solche Quantenpunkte miteinander koppeln, was der Bildung von künstlichen Molekülen entspricht.

Die weitere Ausarbeitung des Loss-DiVincenzo-Vorschlags ist ein Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten der Gruppe für Theoretische Festkörperphysik am Institut für Physik in Basel. Da die Konstruktion eines Quantenrechners äusserst komplex ist, ist zunächst einmal detaillierte theoretische Grundlagenforschung erforderlich. Es geht ja letztlich um die Frage, ob die Gesetze der Physik die Implementierung eines Quantencomputers überhaupt erlauben. Unabdingbar für die theoretischen Studien ist jedoch immer der enge Kontakt mit den experimentellen Forschern. Diese arbeiten weltweit daran, Schritt für Schritt verschiedene Teile des Loss-DiVincenzo-Vorschlags zu implementieren.

Trick aus Harvard Ein entscheidender Sprung gelang jetzt Wissenschaftlern um Charles Marcus in Harvard, die erstmals eine grundlegende 2-Qubit-Operation demonstrierten: das Square-Root-Of-Swap. Darunter verstehen Forscher eine Operation, die, zweimal hintereinander ausgeführt, zum Vertau-



Elektronenspins in Quantenpunkten: Der Zustand eines Elektrons umfasst nicht nur seine räumlichen Freiheitsgrade, also seine Position, sondern auch einen Eigendrehimpuls, den Spin (S). Bei vorgegebener Drehachse beschreibt nach den Regeln der Quantenmechanik eine parallele oder antiparallele Ausrichtung zwei Zustände. Damit ist der Elektronenspin eine natürliche Realisierung eines Qubits. Das Bild zeigt zwei Spins S_L und S_R in nebeneinander angeordneten Quantenpunkten (Bild: NFS).

Quantencomputer-Zentrum Dieses Zentrum vereint die theoretischen und experimentellen Aktivitäten der Universität Basel im Bereich Quantencomputer, wobei auch zwei experimentelle Gruppen der ETH Zürich angegliedert sind. Mehr Informationen finden sich auf der QC2-Webseite: <http://qc2.unibas.ch/> and Quantum Coherence (QC2).

schen (engl. swap) der beiden Qubit-Zustände führt. Die besondere Bedeutung liegt dabei darin, dass sich beliebig komplizierte Quantenalgorithmen mittels Square-Root-Of-Swap-Operationen und -Manipulationen an einzelnen Qubits erzeugen lassen. Der Trick, mit dem die Harvard-Forscher nun zum Erfolg kamen, ist raffiniert: Er basiert auf einer bisher als lediglich störend angesehenen Eigenschaft des Halbleitermaterials, auf dessen Oberfläche die Quantenpunkte angeordnet sind. Dieses enthält nämlich zahlreiche Atomkerne, die ihrerseits analog zu den Elektronen einen Kernspin besitzen. Diese Kernspins erzeugen nun ein Magnetfeld, das von den Elek-

tronenspins in den Quantenpunkten wahrgenommen wird. Da dieses Feld im Allgemeinen in den beiden Quantenpunkten unterschiedlich ist, erlaubt es die Unterscheidung zwischen verschiedenen Zuständen der zwei Spins. Wie sich nun zeigt, lässt sich genau diese Tatsache zunutze machen, um die gewünschte Square-Root-Of-Swap-Operation ausführen zu können.

Allerdings ist das nur die halbe Wahrheit, denn in Wirklichkeit unterliegt das Kernspinfeld langsamen zeitlichen Schwankungen. Quantenfluktuationen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Dadurch ergibt sich ein starker, wie sich herausstellt, dominanter Beitrag zur Dekohärenz der Elektronenspins. Hier setzt nun ein neuer Vorschlag der Basler Forschungsgruppe an: Durch geschickte Messungen an Elektronenspins in den Quantenpunkten sollte es möglich sein, den Zustand des Kernspinsystems stark einzuschränken. Dadurch würden sich die Quantenfluktuationen und damit die Dekohärenz entscheidend reduzieren lassen. Zudem ergäbe sich auch der Vorteil, dass nach der Messung der genaue Wert des Kernmagnetfeldes bekannt wäre, was wiederum eine wesentlich bessere Kontrolle der Qubits erlauben würde.

Daneben wird weltweit auch an alternativen Implementierungen für einen Quantencomputer geforscht. Einige davon, wie beispielsweise so genannte supraleitende Josephson-Qubits oder auch Qubits in molekularen Systemen, werden dabei auch an der Universität Basel untersucht. ■

Dr. Jörg Lehmann ist Postdoc im NFS Nanowissenschaften, Prof. Daniel Loss Ordinarius für Theoretische Physik an der Universität Basel, Direktor des Basler Zentrums QC2 sowie Vizedirektor und Modulleiter im NFS Nanowissenschaften.



Prof. Manfred Max Bergman (*1964) studierte an der University of California und der Universität Genf. Nach der Promotion an der Cambridge University war er Lecturer an deren Faculty of Social and Political Sciences, Forschungsdirektor am Schweizerischen Informations- und Datenarchivdienst für die Sozialwissenschaften und nahm zusätzlich Lehr- und Forschungsaufträge an verschiedenen Universitäten in Europa wahr. Seit 2005 ist er Ordinarius für Soziologie an der Universität Basel.

Klassische Ansätze zur Untersuchung von Sozialstruktur und Ungleichheit

Soziale Ungleichheit bezieht sich auf die mehr oder weniger systematische Verteilung von Ressourcen wie etwa Reichtum, Status, Ansehen oder Macht innerhalb eines sozialen Gefüges. Dieser Begriff wird verwendet, um zum Beispiel soziale Mobilität, Chancengleichheit oder die Ausprägung sozialer Gerechtigkeit innerhalb oder zwischen Gesellschaften zu untersuchen. Dadurch, dass er gesellschaftliche Strukturen ökonomischer, politischer und sozialer Ungleichheit miteinander verbindet, ist er eines der Kernstücke der Soziologie.

Abgesehen von vereinfachten Ansätzen der Armutsforschung, oft durch Aufzählen von Haben und Nichthaben, ist die bekannteste und älteste Tradition der Erforschung von Sozialstruktur, soziale Ungleichheit durch Klassen zu erfassen. Die Aufteilung in soziale Klassen ist schon mindestens seit dem alten Rom gängig; sie hat seit Karl Marx, in dessen Werk die Klasse (oder genauer: der Konflikt um materielle Güter zwischen der Arbeiter- und der Kapitalistenklasse) den Kernpunkt bildet, grossen Einfluss auf die Sozial- und Politikwissenschaften und darüber hinaus auf nationale und internationale Politik und Wirtschaft ausgeübt. Während für Marx materieller Reichtum und Besitz von Produktionsmitteln die Basis für die Bildung von Klassen und Klassenkämpfen sind, gehen andere Theoretiker weiter. Max Weber zum Beispiel geht davon aus, dass Klassen zwar eine wichtige Rolle in der modernen Gesellschaft spielen können, doch weist er die Idee zurück, dass Klassenbildung und Klassenkämpfe unvermeidlich seien. Er weist darauf hin, dass der Status, als Ausdruck von Prestige und Ehre, für die Positionierung von Individuen in einer Gesellschaft oft wichtiger ist als die Klassenzugehörigkeit. Zwar sind Marx und Weber Teil des «Urgesteins» in der soziologischen Debatte über soziale Klassen, ihre Grundannahmen sind jedoch auch in modernen theoretischen und empirischen Studien zu finden.

Die Kontroversen in der modernen Forschung zur Klassentheorie kreisen oft um die Fragen: Welche Aspekte müssen berücksichtigt werden, um Individuen, Haushalte oder Gruppen in Klassen einzuteilen? Wie viele verschiedene Klassen sind erforderlich, um die Sozialstruktur einer modernen Gesellschaft ausreichend zu beschreiben? Wie ändert sich diese Klassenstruktur über die Zeit hinweg? Und welche andern Ungleichheitsstrukturen gibt es, die von Klassentheorien nicht erfasst werden? Empirische Untersuchungen zeigen, dass sich die Schweiz in ihrer Klassenstruktur nur unwesentlich von anderen

modernen Gesellschaften unterscheidet. Was darüber hinaus oft überrascht, ist, dass sich die Mobilität innerhalb der Klassenstruktur im letzten Jahrhundert relativ wenig verändert hat. Was in Anbetracht der grossen gesellschaftlichen Veränderungen zuerst als widersprüchlich erscheint, kann dadurch erklärt werden, dass sich zwar die Gesellschaft als ganze stark gewandelt hat, dass aber die relativen Positionen von Individuen und Gruppen innerhalb der Gesellschaft wesentlich weniger mobil sind. Mit anderen Worten: Während alle modernen Gesellschaften einen deutlichen sozialen Wandel erfahren haben, hat sich die Mobilität zwischen den Generationen, zum Beispiel die Weitergabe von Vorteilen und sozialen Positionen von Eltern an ihre Kinder, in manchen modernen Gesellschaften nur sehr langsam, in andern überhaupt nicht verändert.

Ein anderer wichtiger klassischer Ansatz zur Analyse der Sozialstruktur befasst sich mit der subjektiven Bewertung von Status oder Ansehen. Die Einordnung oder Wertung etwa von Berufen aufgrund ihres subjektiv wahrgenommenen Ansehens fand in den 1920er-Jahren ihren Anfang. Hier wird zuweilen argumentiert, dass es die den Berufen subjektiv zugesprochenen Qualitäten selbst seien, welche die Gesellschaft strukturieren. Andere Ansätze dagegen verstehen diese subjektiven Aspekte lediglich als Konsequenzen einer existierenden Sozialstruktur, die durch Reichtum oder Macht definiert wird.

Schliesslich kann gesellschaftliche Strukturierung auch auf dem Zusammenhang zwischen Ressourcen und sozialen Netzwerken basieren. In dieser Perspektive schaffen soziale Netzwerke durch Freund- und Bekanntschaften Zugang zu ökonomischen, politischen oder kulturellen Ressourcen, während umgekehrt Individuen der Zugang zu diesen Ressourcen eine bestimmte Position in sozialen Netzwerken ermöglicht. Auch dazu gibt es Studien zur schweizerischen Gesellschaft, die zeigen, dass Freund- und Partnerschaften, ähnlich wie in anderen modernen Gesellschaften, aus relativ homogenen Netzwerken entstehen und dass innerhalb der Netzwerke ein reger und die Gesellschaft strukturierender Austausch von relevanten Informationen und Ressourcen besteht.

Es existieren viele klassische Ansätze zur Untersuchung von sozialer Schichtung, die Klassen, Status, Prestige und unterschiedliche Mitgliedschaften in sozialen Netzwerken berücksichtigen. Während klassische Ansätze aktualisiert worden sind und immer noch als Teil des Mainstreams in den Sozialwissenschaften angesehen werden, sind neue Ansätze zunehmend wichtiger geworden, um zusätzliche Ungleichheitsdynamiken zu erfassen.

Die ersten beiden Teile dieser Serie zu sozialer Ungleichheit beschäftigen sich mit der Verortung und Signifikanz des Begriffs wie auch mit den Arten von Ungleichheitsstrukturen. Die dritte Folge fragt nach den Beziehungen zu Konsummustern und Lebensstilen, während Teil vier die systematische und reziproke Natur von Ungleichheitsdynamiken fokussiert. Der letzte Teil wird schliesslich die soziopolitischen Auswirkungen des abnehmenden Interesses an Ungleichheit als politischem und sozialwissenschaftlichem Thema behandeln.

Verräter und Schattengestalten

Monika Wirth

Die Literaturwissenschaftlerin Eva Horn ist eine misstrauische Leserin, die gern die Grenzen ihrer Disziplin überschreitet. Ein Porträt.

Ihre aktuelle Vorlesung heisst «Verschwörungen», ihr nächstes Buch trägt den Titel «Der geheime Krieg – Verrat, Spionage und moderne Literatur». Eva Horn, Assistenzprofessorin für neuere deutsche Literaturwissenschaft, verehrt den Altmeister des Spionagethrillers John le Carré als einen der besten Kenner der Materie und widmet sich in ihrer Forschung gern der dunklen Seite der Menschen, der verborgenen Dimension der politischen Macht. Was reizt die Frau daran?

Zum einen seien die Themen Geheimnis, Manipulation, Täuschung und Verführung literarisch äusserst ergiebig. «Verschwörung oder Verrat ist seit der Antike ein weltliterarisches Kernthema», sagt die Wissenschaftlerin, und ihre Forschung umfasst deshalb ebenso die Ermordung Caesars wie die Geheimlogen der deutschen Aufklärung oder die neuen Feindbilder nach «9/11».

Doppelbödiges Erzählen Zum andern haftet Verrätern und Spionen eine Ambiguität an, die zur Deutung und zum Diskurs einlädt. Das beginnt bereits mit Judas Ischariot, dem archetypischen Verräter. Schon die vier Evangelien, so Eva Horn, sind sich nicht einig darüber, wer Judas sei: ein habgieriger, ehrloser Schurke, die Verkörperung des absolut Bösen oder der beste Freund Jesu, ein Auserwählter, der sich opfert, um die Schrift zu erfüllen. «Der Verrat ist gleichermassen unvermeidlich und verwerflich, der Verräter notwendig, aber unerlösbar», schreibt sie. Und: «Verrat generiert ein Erzählen, das immer schon über die Brüche und Rätsel des Geschehenen hinwegzählen muss, ein doppelbödiges Narrativ, das in der



Prof. Dr. Eva Horn, 1965 geboren, ist seit 2005 Assistenzprofessorin für neuere deutsche Literaturwissenschaft an der Universität Basel. Nach dem Studium der Germanistik, allgemeinen Literaturwissenschaft, Romanistik und Philosophie in Bielefeld, Konstanz und Paris promovierte sie 1996 an der Universität Konstanz über Textformen der Trauer in der Literatur der Goethezeit. Als Postdoc setzte sie sich mit der Anthropologie des Kriegs in der Moderne auseinander. Von 1999 bis 2005 war sie Assistentin an der Fakultät Kulturwissenschaft der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt/Oder und 2002/03 als Alexander-von-Humboldt-Stipendiatin an der New York University, wo sie ihr Manuskript «Der geheime Krieg» schrieb. 2004 habilitierte sie sich mit dieser Arbeit zur Struktur des politischen Geheimnisses und seiner Reflexion in der modernen Literatur und erhielt die Venia legendi für Germanistik und Komparatistik (Bild: Andreas Zimmermann).

Version, die es anbietet, stets eine andere, ebenso mögliche, verschweigt.»

Eben solche Mehrdeutigkeit treibt die Forscherin zum vergleichenden Lesen, reizt sie, Analogien zu suchen, Zusammenhänge herzustellen und Themen in neuen Kontexten zu präsentieren. Einen Aufsatz hat sie kürzlich der Figur des «Mad Scientist» gewidmet und anhand von Faust, Frankenstein und H.G. Wells' Dr. Moreau die perverse wissenschaftliche Neugier untersucht: «Solche ambivalenten Schattengestalten finde ich ausserordentlich faszinierend.»

Selber gehört sie offensichtlich nicht in die Kategorie Schattengestalt: Ihre Aussagen sind klar und geradeheraus. Ist sie ehrgeizig? «Ja, zweifellos. Ehrgeiz ist für mich der Imperativ, mich selber zu entwickeln; er ist aber nicht dazu da, andern auf die Nerven zu gehen.» Auf der Suche nach der adäquaten Darstellung eines Problems konnte es schon vorkommen, dass sie in der Wohnung herumtigerte und dachte: «Die Sache ist viel komplizierter, als mein kleiner Verstand bewältigen kann.» Eva Horn ist, scheint es, eine Frau, die sich mit Mittelmass in keiner Weise zufrieden gibt.

Wie aber geht sie mit Durchschnittlichkeit um, wenn sie ihr begegnet? «Der Ausdruck von Mittelmass, der mich am meisten ärgert, ist das Phänomen, wenn Leute einfach drauflos schwätzen. Wenn jemand unbelehrbar und von Fakten unbeleckt seine Meinung absondert, werde ich schon mal etwas schneidend.» Das trifft aber nur selten die Studierenden, die sie meist als motiviert und interessiert erlebt. «Ich unterrichte wirklich gern», sagt die Dozentin. «Ich brauche die Studierenden einerseits, um zu testen, ob das, was ich zu sagen habe, auch überzeugend ist. Andererseits ist das Unterrichten eine ideale Möglichkeit, meine Leidenschaft für Literatur mit andern zu teilen.»

Lesen als Labsal Dieser hat sie sich schon in ihrer Jugend verschrieben. Die Schule war für die begabte Schülerin «einfach eine Quälerei», weil sie sich langweilte und nicht verstanden fühlte. «Und ich gehe Konflikten nicht aus dem Weg.» Lesen war für die junge Frau Labsal, meditative Versenkung, Ruhe

und Frieden. Die Eltern, beide Juristen, fanden es unverständlich, dass ihre Tochter ihr Geld mit Literatur verdienen wollte, und standen dem «Hungerfach» lange ziemlich misstrauisch gegenüber. Doch sie liess sich nicht von ihrer detektivischen Lektüre abbringen, ist die aufmerksame und begeisterte Leserin geblieben, die mit gezücktem Bleistift danach Ausschau hält, was der Autor eben gerade nicht erzählt. «Fontane ist da zum Beispiel sehr aufschlussreich. Unterhalb des scheinbar seichten Geplauders seiner Figuren werden auf grausame Weise Schicksale entschieden, Ehen ruiniert.» Solches «Close reading», Lesen mit Blick auf die Innenstruktur eines Textes, sei am Anfang der Beschäftigung mit Literatur wichtig, aber dabei dürfe man nicht stehen bleiben. Literatur sei als Feld von Texten zu betrachten, die das wiedergeben – offen oder versteckt –, was zu einem bestimmten Zeitpunkt die Welt bestimmt.

Deshalb unterrichtet Eva Horn zwar schwerpunktmässig Germanistik, noch mehr aber versteht sie sich als Komparatistin und Kulturwissenschaftlerin, die neben europäischer und amerikanischer Literatur auch Texte aus Zeitgeschichte, Naturwissenschaften, Politik und Religion in ihre Arbeit integriert: «Ich bin einfach superneugierig.» Es erstaunt deshalb nicht, dass sie einer Einladung folgte, dem Vorstand eines Gesprächskreises über westdeutsche Geheimdienste beizutreten.

Die Wissenschaftlerin überschreitet die Grenzen ihrer Disziplinen gern und bewusst, und nicht nur diese. So zieht sie sich zum Beispiel manchmal in den Semesterferien ausgerechnet nach Manhattan zurück, um zu arbeiten. Die Bibliotheken seien dort hervorragend und das Umfeld sehr anregend. Nach Jahren in Berlin und New York empfindet Eva Horn Basel zwar «nicht gerade als Metropole», aber sie fühlt sich wohl in der Schweiz, auch wenn sie sich das Land dereinst im europäischen Gefüge wünscht. Einzig mit der schweizerischen Kultur der Regelung kann sie sich schwer anfreunden, etwa dem Waschtag oder dem Bebbisack. Doch bestimmte, nur in Basel erhältliche Fleischpasteten machen vieles wieder wett: «Die sind klein, die sind teuer, aber sie sind die besten.» ■

Monika Wirth ist freie Journalistin in Basel.

Wie Pflanzen heilen

Christoph Dieffenbacher

Basler Forscher sind einer Arzneipflanze auf der Spur, die lange vergessen blieb, aber wieder zu Ehren kommen könnte: Mit modernsten Methoden wird erstmals jahrtausendealtes Wissen um den einheimischen Färberwaid bestätigt.

Der alte und lange vergessene Färberwaid (*Isatis tinctoria*) dürfte wohl bald zu den best untersuchten Nutz- und Heilpflanzen überhaupt zählen. Denn Matthias Hamburger, seit zwei Jahren Professor für Pharmazeutische Biologie an der Universität Basel, ist mit einem Team daran, seine sämtlichen Eigenschaften umfassend wissenschaftlich aufzuarbeiten. Anhand des Modells Färberwaid möchte der Forscher grundsätzliche Fragen über die Zusammensetzung von Arzneipflanzen klären. Zudem ist es ein Fernziel, daraus einmal ein neuartiges pflanzliches Medikament, ein so genanntes Phytopharmakon, entwickeln zu lassen.

Im Mittelalter zur Indigo-Herstellung in grossem Stil angebaut, aber auch als Heilpflanze benutzt: Feld mit Färberwaid in Thüringen (Bild: M. Hamburger).



«Allgemein verfolgen wir mit unserer Arbeit zwei Stossrichtungen», sagt Hamburger, der das Färberwaid-Projekt an der deutschen Universität Jena begonnen hatte. Zuvor war der gebürtige Schaffhauser nach seinem Studium als Forscher in Chicago, Lausanne und Singapur tätig. «Wir suchen in Pflanzen zum einen nach neuen Prototyp-Substanzen für die Wirkstoff-Entwicklung – die Natur, die nach wie vor sehr ergiebig ist, kann hier häufig als Anregung für synthetisch hergestellte Wirkstoffe dienen. Zum andern gehen wir konkreten Arzneipflanzen nach, die eine lange Tradition haben, um ihre Wirkungen mit modernen wissenschaftlichen Methoden und Geräten zu erforschen.»

Aus Innerasien Der wenig bekannte Färberwaid aus der Familie der Kreuzblütler hat eine lange Geschichte hinter sich. Ursprünglich aus Innerasien stammend, war er schon in der Antike schriftlich belegt und tauchte dann in Herbarien (Kräuterbüchern) der Renaissance und des Barock immer wieder auf. Eine nahe Verwandte des Färberwaid, die *Isatis indigotica*, kommt in der traditionellen chinesischen Medizin noch heute zum Einsatz. In allen alten Aufzeichnungen wird die Pflanze in Zusammenhang mit entzündlichen Erkrankungen erwähnt. Nachdem Hamburger die historischen Quellen zum Färberwaid analysiert hatte, konnte er in einer breiten pharmakologischen Untersuchung («Profiling») erstmals diese immer wieder beschriebene entzündungshemmende Wirkung der Pflanze bestätigen.

Doch der Name «Deutscher Indigo», wie die Pflanze auch genannt wird, zeigt, wofür sie traditionsgemäss in erster Linie verwendet wurde: für die Herstellung des Indigo-Farbstoffs, des lange Zeit einzig bekannten Blaus. Der Färberwaid wurde im Mittelalter vor allem im deutschen Thüringen in grossem Massstab angebaut und gehandelt, was dieser Region über Jahrhunderte hinweg zu Reichtum und Wohlstand verhalf. Das ging so lange, bis er als Farbstoff von einem andern, leichter zu ver-

arbeitenden Indigo abgelöst wurde, den die Engländer aus Indien günstig importierten. Gleichzeitig mit dieser Veränderung im 16. Jahrhundert verlor sich auch die breite Verwendung des Färberwaid als Arzneipflanze.

«Bei den Heilpflanzen gibt es noch immer sehr viele Wissensdefizite. Das liegt vor allem daran, dass die Zusammensetzung von Pflanzen sehr komplex und unüberschaubar ist – im Gegensatz zu den einzelnen Wirkstoffen, die sich auch isolieren und synthetisch herstellen lassen», sagt der Forscher. «Phyto-pharmaka sind ja nichts anderes als Extrakte, und diese bestehen aus Gemischen von zahlreichen, bis zu Tausenden von einzelnen Substanzen. Für die Naturwissenschaft ist es schwierig, mit diesen Pflanzen zu forschen – es gilt herauszufinden, welches die Funktionen der verschiedenen Substanzen eines solchen Gemisches sind: Welche Substanz hat welche pharmakologische Wirkung?» Als einen der wichtigsten Inhaltsstoffe des Färberwaid konnten die Forscher eine hoch aktive Substanz namens Tryptanthrin ausmachen.

Extrakt wirksamer als Einzelstoff In einem nächsten Schritt identifizierte das Forschungsteam die einzelnen Inhaltsstoffe. Die entzündungshemmende Wirkung von Isatis-Extrakten konnte in pharmakologischen Untersuchungen an Tieren wie auch in einer klinischen Pilotstudie belegt werden: Dabei zeigte sich überraschenderweise, dass das gesamte Extrakt einem isolierten Stoff wie dem Tryptanthrin weitaus überlegen war. Dieser Befund wurde in einer vergleichenden Untersuchung der Hautdurchdringung weiter abgesichert: Die Reinsubstanz Tryptanthrin gelangte schlechter in die Haut, als wenn sie im Pflanzenextrakt, zusammen mit weiteren Substanzen, aufgelöst war. Also müssen noch andere Inhaltsstoffe bei der entzündungshemmenden Wirkung der Pflanze eine Rolle spielen.

In einer breit angelegten Herkunftsprüfung des Pflanzenmaterials stellte Hamburgers Team am Beispiel des Tryptanthrin bis zu 30fache Konzentrationsunterschiede fest. Was ist dafür verantwortlich? Es zeigte sich, dass die Inhaltsstoffmuster der Pflanze durch die Art der Behandlung nach der Ernte massiv beeinflusst werden: Das Team machte nämlich weiter die Ent-

deckung, dass das stark aktive Tryptanthrin erst während des Trocknungsprozesses des Färberwaid gebildet wird. «Im Moment sind wir in Basel dabei, besser zu verstehen, was da genau abläuft», sagt Hamburger. Dabei werden eine umfassende und detaillierte chemische Charakterisierung durchgeführt und weitere wirkbestimmende Inhaltsstoffe beschrieben.

Dass sich die Wissenschaft so eingehend mit einer bestimmten Heilpflanze befasst, ist ziemlich neu. So wisse man, so Hamburger, bei vielen Pflanzenextrakten nur, dass sie etwas bewirken, kenne aber meist die molekularen Wirkmechanismen nicht, die dahinter stehen: «Unser Ziel ist es, dass die *«Blackbox»* des *«Vielstoffgemischs Pflanze»* transparent wird.» Am Beispiel des Färberwaid beschreibt es der Forscher mit einer Verhältniszahl: «Die bekannten wirkrelevanten Verbindungen der Pflanze bilden nur einen ganz kleinen Bestandteil, vielleicht rund fünf Prozent, während die übrigen 95 Prozent des Extrakts noch genauer zu erforschen sind.»

Rationaler Anspruch Bereits seit rund dreissig Jahren und sehr detailliert untersucht ist die Arzneipflanze Ginko, die weltweit erfolgreich gegen Gedächtnisstörungen und Alzheimer eingesetzt wird. Könnten also die Grundlagen für ein künftiges Entzündungs-Präparat aus Färberwaid in Basel gelegt werden? Nur die Forschung, nicht aber die Entwicklung müsste an der Universität betrieben werden, sagt Hamburger. Wichtig seien unter anderem vor allem auch toxikologische Tests. Und für alle künftigen Schritte brauche es natürlich Investitionen, die angesichts des derzeitigen wirtschaftlichen Umfelds für Phyto-pharmaka schwierig zu erhalten seien.

Auch gesundheitspolitisch stehe die Phytotherapie – die Behandlung mit Arzneimitteln auf der Basis von Pflanzenextrakten – heute etwas quer in der Landschaft, meint der Forscher: «Einerseits sind ein grosses Interesse und eine wachsende Akzeptanz in der Bevölkerung da, andererseits steht ihr die Politik eher reserviert gegenüber.» Bedauerlich sei, dass die Phytotherapie mit ihrem rationalen Anspruch und ihren naturwissenschaftlichen Grundlagen meist in denselben Topf wie die *«alternativen»* Therapien geworfen werde. ■

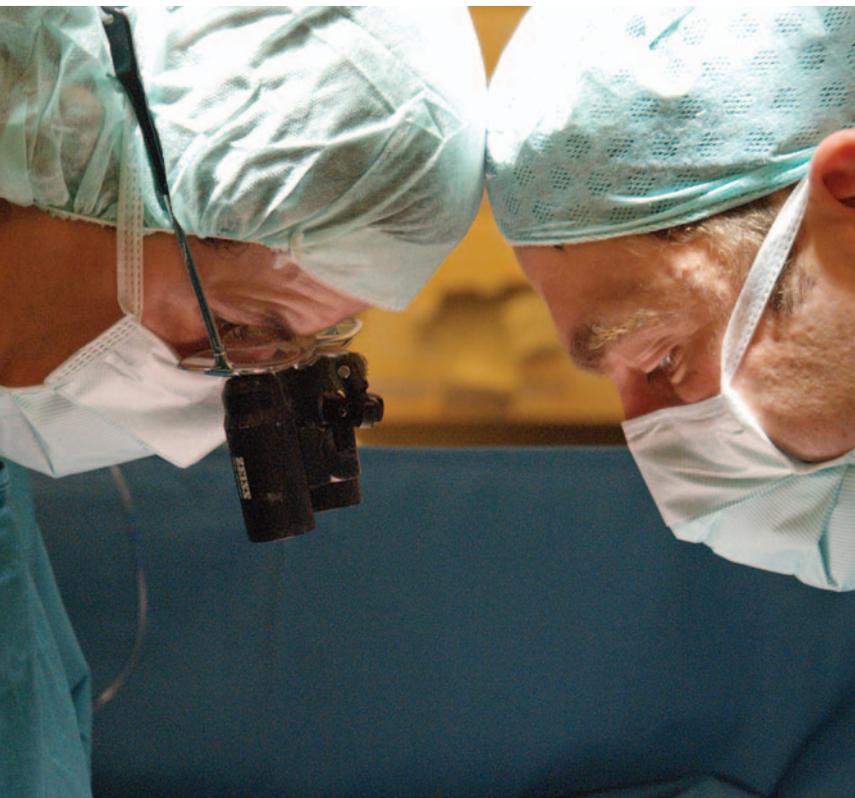
Organentnahmen an Verstorbenen

Patrizia Schmid

Organtransplantationen gehören zu einer anerkannten medizinischen Therapie für Schwerkranke. Zahlreiche rechtliche Fragen sind aber noch ungeklärt – etwa wie sich ein Verbot von Organentnahmen an Verstorbenen begründen lässt. Eine juristische Dissertation ist dieser Frage nachgegangen.

Warum sind Organentnahmen an Verstorbenen verboten, wenn sie nicht von einer Einwilligung gedeckt sind? Mit der dogmatischen Begründung einer solchen Strafnorm tut man sich schwer, braucht es doch für die Legitimation eines Straftatbestands generell ein geschütztes Rechtsgut. Dieses ist hier schwierig zu bestimmen. In meiner Dissertation habe ich untersucht, welches das geschützte Rechtsgut bei einem Tatbestand sein könnte, der Organentnahmen an Verstorbenen ohne deren Einwilligung verbietet, und welche Rechtfertigungsgründe für eine solche Entnahme gelten könnten. Eine derartige Regelung ist in Art. 8 des voraussichtlich 2007 in Kraft tretenden Transplantationsgesetzes festgehalten.

Schützenswerte Pietätsgefühle von Angehörigen: Im Operationssaal des Universitätsspitals Basel (Bild: Claude Giger).



Schutz eines Individualrechts Primär wird versucht, das geschützte Rechtsgut in einem Individualrecht zu finden, so z. B. im Persönlichkeitsrecht oder in der Menschenwürde. In neuerer Zeit wird häufig vermutet, bei der Regelung betreffend Verbot von Organentnahmen an Verstorbenen ohne Einwilligung handle es sich um einen Schutz der «postmortalen Persönlichkeit». Eine vertiefte Analyse der Lehre und Praxis ergibt aber, dass das geltende schweizerische Recht keine eindeutigen Hinweise auf eine Anerkennung postmortaler Rechte enthält. Ein Weiterbestand von Persönlichkeitsrechten nach dem Tod muss negiert werden. Vielmehr verhält es sich so, dass die zu Lebzeiten bestehenden und geäusserten Persönlichkeitsrechte nach dem Tod zwar weitergelten, nicht aber quasi ohne lebendes Rechtssubjekt weiter *bestehen*.

Ebenso wurde bezweifelt, dass sich ein individueller Schutz des Verstorbenen mit einer «postmortalen Menschenwürde» begründen lässt. Wenn man die Menschenwürde aber nicht mehr als subjektbezogen definiert, sondern als «Menschenbild» oder als zwischenmenschliche Interaktion, so stellt sich die Frage, ob es dabei nicht in Wirklichkeit um Gefühle der Sicherheit oder der Pietät der Gesellschaft geht. Es handelt sich dann auf jeden Fall nicht mehr um ein Individualrecht.

Kollektive Interessen Ein Schutz des verstorbenen Organ-spenders aufgrund eines Individualrechts ist also zu verneinen. Könnte es jedoch um kollektive Interessen gehen, und sind Sicherheitsgefühle der Gesellschaft und Pietätsgefühle der Angehörigen mögliche geschützte Rechtsgüter? Es zeigte sich hier wiederum, dass der Begriff des Rechtsguts für die vorliegende Problematik nicht von Nutzen ist. Beim Schutz von Sicherheitsgefühlen stellen sich weitere Probleme: Soll ein Tatbestand, der

die Organentnahme an Verstorbenen ohne Einwilligung verbietet, auf einen solchen Schutz zielen, so ist zu beachten, dass es sich dabei um einen Gefährdungstatbestand handeln würde. Dieser erfordert bekanntlich ein höheres Mass an Legitimation als ein Verletzungstatbestand.

Beim Schutz von Pietätsgefühlen gilt es, dem Einwand Rechnung zu tragen, das Recht überschreite die Grenze zur Moral. Als Ausweg aus diesem Dilemma bietet sich an, bei einem solchen Tatbestand den Schutz der Orientierungssicherheit der Angehörigen bzw. deren vorgängige Orientierungskompetenz als Rechtsgut zu betrachten. Im Gegensatz zur Orientierungssicherheit stellt nämlich die Orientierungskompetenz eine Parallele zum Freiheitsschutz als Handlungskompetenz dar, sodass das Recht dabei allseits akzeptierten Freiheitsschutz betreiben würde, ohne die Grenze zur Moral zu überschreiten. Allenfalls auf diesem Weg könnten also Pietätsgefühle der Angehörigen oder anderer betroffener Dritter zum geschützten Rechtsgut eines Tatbestands erklärt werden, der Organentnahmen an Verstorbenen ohne Einwilligung verbietet.

Bei der Frage nach der Rechtfertigung einer postmortalen Organentnahme geht es vor allem um Konflikte zwischen dem Selbstbestimmungsrecht des Verstorbenen, dem Interesse und den Rechten der zurückbleibenden Angehörigen und teilweise vertretenen Solidaritätsgedanken.

Pietätsgefühle und Rechtfertigung Unter der Annahme, dass mit einem Tatbestand wie jenem des Art. 8 des Transplantationsgesetzes die Pietätsgefühle der Angehörigen geschützt werden sollen, sind folgende Rechtfertigungsgründe zu bejahen: Auf jeden Fall gerechtfertigt sein muss eine postmortale Organentnahme bei einer zu Lebzeiten erfolgten Einwilligung des Verstorbenen. Da die Angehörigen wissen, dass die Organentnahme in dessen Willen erfolgt, sind ihre Pietätsgefühle in aller Regel nicht verletzt. Dabei eignet sich die Form der Zustimmungslösung, nicht aber jene der Widerspruchslösung. Einen weiteren Rechtfertigungsgrund muss – bei fehlender Willensäusserung des Verstorbenen – aus den obigen Gründen des Pietätsschutzes die Zustimmung der Angehörigen bilden,

wobei bei widersprüchlicher Haltung des Verstorbenen und seiner Angehörigen der Wille des Verstorbenen vorzugehen hat. Nicht als Rechtfertigungsgründe bei einer Organentnahme an Verstorbenen eignen sich dagegen die mutmassliche Einwilligung und der Notstand.

Es mutet weniger seltsam an, als auf den ersten Blick vermutet, den Schutz von Pietätsgefühlen als Sinn und Zweck eines Tatbestands anzunehmen, der Organentnahmen an Verstorbenen ohne Einwilligung verbietet. Dies auch angesichts der Tatsache, dass seit langer Zeit bereits zumindest ein Tatbestand mit dem gleichen Zweck existiert, nämlich jener der Störung des Totenfriedens nach Art. 262 des Strafgesetzbuchs. Das Bedürfnis nach solchen Tatbeständen ist offensichtlich und rechtfertigt es, dass der Gesetzgeber ihm nachkommt. Im Übrigen hat sich gezeigt, dass die dogmatischen Schwierigkeiten bei der Begründung eines strafrechtlichen Tatbestands, der Gefühle schützen soll, durchaus lösbar sind, so insbesondere das Dilemma zwischen Recht und Moral. Es ist deshalb durchaus begründ- und vertretbar, dass ein Tatbestand wie jener des Art. 8 des Transplantationsgesetzes den Schutz von Pietätsgefühlen der Hinterbliebenen zum Ziel haben soll und dadurch legitimiert wird.

Der Gesetzgeber wird in neuerer Zeit mehr und mehr dazu angerufen, die sich aufgrund der medizinisch-technischen Möglichkeiten stellenden Probleme strafrechtlich zu regeln. Angesichts der Tatsache, dass die Schaffung solcher Tatbestände offenbar einem tiefen Bedürfnis der Gesellschaft entspricht, scheint es auch angebracht, auf der Suche nach Lösungen auch unbekannt Wege zu beschreiten. So sind in neueren Tatbeständen Rechtsgüter nicht mehr wie bis anhin überwiegend individueller, sondern zunehmend auch kollektiver Natur. Solche Tatbestände sollen vor allem den Schutz des vielfach bemühten «sozialen Friedens» zum Ziel haben. Dies führt dazu, dass das Strafrecht zum «Instrument staatlichen Krisenmanagements» wird. Diese Entwicklung rechtfertigt es, sich – zumindest teilweise – vom altbewährten Strafrechts- bzw. Rechtsgutsdenken zu lösen und neueren Ansätzen nachzugehen. ■

Dr. Patrizia Schmid ist Autorin der erwähnten Dissertation an der Juristischen Fakultät der Universität Basel.

Kinder psychisch Kranker

Kinder und Erwachsene, deren Vater oder Mutter psychisch krank ist, gehören zu den «vergessenen» Angehörigen. Wie sie mit der elterlichen Krankheit und ihren Folgen umgehen und in der Bewältigung eine eigene Identität bilden, zeigt ein Forschungsprojekt der Universitären Psychiatrischen Kliniken Basel, durchgeführt im Nationalen Forschungsprogramm 51 «Integration und Ausschluss». Betroffen sind in der Schweiz laut Schätzungen und ohne Dunkelziffer rund 50'000 Kinder; etwa 50% der psychisch Kranken in der Schweiz haben auch Nachkommen. In der Basler Studie wurde in 20 Interviews der Frage nachgegangen, welche Bedeutung die Befragten der elterlichen Erkrankung geben und welches Selbstbild sie in der individuellen Bewältigung entwickeln. Geprägt durch die frühen Erfahrungen von Anderssein, Fremdheit, Ausgrenzung und Isolation sowie durch die Konfrontation mit der elterlichen Krankheit sind für die erwachsenen Nachkommen psychisch kranker Eltern Abgrenzungen von besonderer Bedeutung, und zwar für die Identitätsbildung und für die eigene soziale Positionierung. Weiter wurde in der Studie untersucht, welche Faktoren das Wohlbefinden und die Lebensorientierung von erwachsenen

Söhnen und Töchtern psychisch kranker Eltern beeinflussen. In einer standardisierten schriftlichen Erhebung wurden 103 psychisch gesunde Personen zwischen 18 und 55 Jahren mit Eltern, die an einer schizophrenen oder affektiven Störung leiden, befragt. Erste Resultate zeigen, dass Kinder über die Erkrankung kaum aufgeklärt wurden, was ihre Hilflosigkeit vergrössert und ihren Umgang mit der Krankheit wesentlich erschwert. Umgekehrt können gerade der familiäre Umgang mit der Krankheit und die Anwesenheit einer verlässlichen Bezugsperson krankheitsbedingte Belastungen wesentlich abschwächen und die Entwicklung des Kinds massgeblich mitbestimmen.

Neue Synthese von Vitamin E

Mit zwei neuen Konzepten haben zwei Forschungsgruppen am Departement Chemie der Universität Basel einen Durchbruch bei der Synthese von Vitamin E erzielt. Die Bezeichnung Vitamin E umfasst eine Gruppe strukturell verwandter Moleküle (Tocopherole), die von allen photosynthetisch aktiven Organismen hergestellt werden. Diese Verbindungen lassen sich sowohl aus Cyanobakterien wie aus höheren Pflanzen isolieren – etwa Spinat, grünem Salat sowie aus Sonnenblumen-, Oliven- und Weizenkeimöl. Für den Menschen ist das Vitamin ein essenzieller Bestandteil der Nahrung.

Seine Schutzfunktion beruht vor allem auf seiner Wirkung als Antioxidans. Die für den Menschen wichtigste natürliche Vitamin-E-Verbindung ist das Alpha-Tocopherol. Während die Synthese von so genanntem racemischem Alpha-Tocopherol heute im Tonnenmassstab realisiert wird, ist die Herstellung von natürlichem, enantiomerenreinem Alpha-Tocopherol noch eine Herausforderung. Der Gruppe von Prof. Andreas Pfaltz ist es nun gelungen, neue Iridium-Katalysatoren zu entwickeln, die erstmals die enantioselective Addition von Wasserstoff (H₂) an isolierte Kohlenstoff-Doppelbindungen erlauben. Die Gruppe von Prof. Wolf-D. Woggon hatte zuvor ein Enzym isoliert, das die Synthese von Vitamin E katalysiert. Aufgrund der Kenntnis der Wirkungsweise dieses Enzyms wurde eine Methode entwickelt, die den enzymatischen Prozess mit hoher Selektivität nachahmt; auch hier handelt es sich um eine enantioselective Addition an eine isolierte Kohlenstoff-Doppelbindung.

Entstehung der Elemente

Ein Team von PhysikerInnen der Universität Basel hat einen neuen Prozess zur Entstehung von chemischen Elementen während einer Supernova-Explosion aufgezeigt. Damit konnten erstmals die Häufigkeiten der schweren Elemente Kupfer und Zink sowie Strontium, Yttrium, Zirkonium, Mo-

lybdän und Ruthenium erklärt werden. Im Urknall entstehen Wasserstoff, Helium und Lithium; die Elemente von Kohlenstoff bis Eisen wurden durch Kernverschmelzungen erstmals in Sternen erzeugt. Eisen bildet die Grundlage zur schrittweisen Bildung weiterer schwerer Elemente durch schnellen oder langsamen Neutroneneinfang – etwa durch den extremen Neutronenfluss während der Explosion eines Sterns, einer so genannten Supernova. Mit diesen seit längerem bekannten Prozessen der Nukleosynthese liess sich aber die Häufigkeit einer Reihe von schweren Atomkernen im Universum bisher nicht ausreichend erklären. Die Physikerin Carla Fröhlich sowie die Professoren Matthias Liebendörfer und Friedrich-Karl Thielmann vom Departement für Physik und Astronomie der Universität Basel haben nun einen Prozess beschrieben, der diese Probleme löst. Während der ersten paar Sekunden einer Supernova-Explosion erzeugt der Fluss von Neutrinos und Antineutrinos anfänglich ein protonenreiches Gemisch, in dem Elemente wie Kupfer und Zink entstehen. In einer zweiten Phase reagieren die durch die Explosion freigesetzten Antineutrinos mit Protonen und wandeln sie unter extrem hohen Temperaturen in Neutronen um. Dadurch entsteht eine hohe Neutronendichte, die die Nukleosynthese weiterer schwerer Elemente begünstigt.

Zeitreise mit Fischen



Heide Hüster Plogmann (Hg.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden*. Eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Reihe Forschungen in Augst, Band 39, Verlag des Römermuseums Augst (Auslieferung durch Schwabe & Co. AG, Basel). Augst 2006. 244 Seiten, 138 farbige Abb. und Fototafeln, Fr. 60.–.

In dieser Aufsatzsammlung werden Aspekte des Themas «Fisch und Fischer» im Licht von heute und jenem früherer Epochen betrachtet. So ist etwa von «König Grop» zu lesen, der an der Fasnacht von Ermatingen am Bodensee bis heute im Zentrum steht: Die Entstehung der so genannten Groppenfasnacht soll mit dem Konzil von Konstanz im 15. Jahrhundert zusammenhängen, jedenfalls sind aus archäologischen Grabungen mittelalterlicher Latrinen Unmengen des kleinen Bodenfishs Groppe nachweisbar. Wechselhaft verlief die Ausbreitung des Zuchtkarpfens vom Donaoraum in unsere Breiten: Ein Brief aus dem 6. Jahrhundert n. Chr. berichtet von einem Lebendimport aus dem Raum

des heutigen Belgrad nach Italien, einem Geschenk von hohem Wert, wurde doch ein solcher Fisch dem herrschenden ostgotischen König nur zu besonderen Anlässen kredenzt. Trotzdem brauchte es mehrere Jahrhunderte, bis der Zuchtkarpfen auch bei uns als Delikatesse geschätzt wurde. Vertrauter erscheint die Geschichte der ersten künstlichen Befruchtung von Forelleneiern: 1740 gelang sie dem deutschen Landwirt Stephan Ludwig Jacobi, doch es vergingen hundert Jahre, bis diese Methode angewendet wurde – in der ersten europäischen Fischzuchtanstalt in Hüningen bei Basel («Petite Camargue Alsacienne»). Den Auftrag zu ihrem Bau gab Napoleon III., nachdem die Gewässer in den Vogesen überfischt waren. Auch aus unserer Zeit gibt es lesenswerte Fisch-Geschichten: Als 1991 der Einsatz von Regenbogenforellen für die meisten Gewässer verboten wurde, reagierten Fischer geharnischt. Dieser Fisch komme seit über hundert Jahren in der Schweiz vor und gelte daher als einheimisch, hiess es. Der Band, durch private Initiative entstanden, wurde durch private Spenden aus Fischereikreisen finanziert und durch den Einsatz von nationalen und internationalen Forschenden sowie Studierenden der Universität Basel realisiert. Die Herausgeberin ist Oberassistentin am Institut für Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie.

Basler Germanistik heute

Alexander Honold (Hg.), *Deutsches Seminar der Universität Basel*. Einblicke in die Forschung. Basel 2006. 280 S., zahlreiche Abb., brosch., Schutzgebühr 5 Fr. (zu beziehen im Deutschen Seminar, Nadelberg 4, 4051 Basel).

Einen Eindruck von der Vielfalt auf dem Gebiet der aktuellen deutschen Sprach- und Literaturwissenschaft an der Universität Basel bietet eine kürzlich erschienene Publikation des Deutschen Seminars. Die Dozierenden geben darin Einblicke in die Themen, Fragestellungen und Materialien, mit denen sie sich in ihren laufenden Forschungsarbeiten beschäftigen. Germanistische Mediävistik, Deutsche Sprachwissenschaft und Neuere deutsche Literaturwissenschaft heissen die drei Abteilungen des Seminars: Zu lesen ist in dem Band etwa von Ekel-Texten aus dem Mittelalter, visueller Poesie des 17. Jahrhunderts, wie Deutschschweizer Kinder Hochdeutsch lernen, von einem entstehenden digitalen Schweizer Textkorpus, von einer kleinen Paradoxienlehre, vom Vergnügen am Text – und präsentiert werden unter anderem Notizbücher von Friedrich Glauser und ein veritables Innerschweizer Literaturrätsel. Die Publikation ist mit Fotos und Illustrationen versehen und wird mit einem kurzen Überblick über die Geschichte der Basler Germanistik eingeleitet.

Jugendgewalt

Wassilis Kassis, *Wie kommt die Gewalt in die Jungen? Soziale und personale Faktoren der Gewaltentwicklung bei männlichen Jugendlichen im Schulkontext*. Huber Verlag, Bern 2003. 319 S. mit vier Abb. und 13 Tabellen, kart., Fr. 48.–.

Physische Gewalt in der Schule entsteht aus dem Wechselspiel einer ganzen Reihe von Faktoren: Geschlechterrollenstereotype, ausserschulische Delinquenzneigung, Interaktionserfahrungen in der Schule mit Lehrpersonen und MitschülerInnen, familiäre Sozialisation und Bewältigungseigenschaften der Jugendlichen. So lautet die Quintessenz dieser theoretischen und empirischen Studien zur Gewalt von männlichen Jugendlichen im Schulumfeld. Gewalterfahrungen, so die Folgerung, fussen weder primär auf individuellen Defiziten der Jugendlichen noch sind sie ein hinreichender Verweis auf soziale Desintegrationserscheinungen. Aus den Untersuchungen lässt sich weder die Forderung nach einer Veränderung der Familie folgern noch der Schluss, die Schule sei in Ordnung, wie sie ist. Gewalt springt nicht nur von der Strasse auf die Schule über – sie wird in der Schule nur dann heimisch, wenn diese einen fruchtbaren Boden für Gewalt darstellt. Der Autor, PD Dr. Wassilis Kassis, ist Dozent und interimistischer Leiter an der Abteilung Pädagogik des Philosophischen Seminars der Universität Basel.

Mein Web-Tipp

Heinz Schneider

Dr. Heinz Schneider (*1956) ist Dozent und Kustos der Pflanzensammlungen am Botanischen Institut der Universität Basel. Er befasst sich mit Florenveränderung und Landschaftswandel, Morphologie und Systematik der Samenpflanzen sowie Pflanzenillustrationen in Kunst und Wissenschaft.



Heinz Schneider, Botaniker.

BBC Motion Gallery

www.bbcmotiongallery.com

Tausende kurze Videoclips aus dem immensen Archiv der BBC, in beachtlicher Qualität und inhaltlich vorbildlich erschlossen. Unter den weit gespannten Themen finden sich auch viele hochwertige Tier- und Pflanzenaufnahmen.

Bibliothèque nationale

gallica.bnf.fr

Jeden der 90'000 digitalisierten Titel von Gallica der Bibliothèque nationale de France kann man online lesen oder

kostenlos als PDF-Datei herunterladen. Dazu gehören unzählige ältere wissenschaftliche Werke in französischer oder lateinischer Sprache, das heisst viele Titel, die man in öffentlichen Bibliotheken nicht ausleihen darf, weil sie zu alt sind. Eine enorme Fundgrube für (wissenschafts-)geschichtlich Interessierte, leider etwas verborgen hinter einer spröden Oberfläche (Einstieg unter «Recherche»).

Systematik der Blütenpflanzen

www.mobot.org/MOBOT/research/APweb

delta-intkey.com/angio/www/

Diese beiden englischen Webseiten liefern eine eingehende Dokumentation aller rund 400 Blütenpflanzenfamilien. Auf der ersten («Angiosperm Phylogeny Website») wird die Pflanzensystematik ständig aktualisiert; die

zweite («The Families of Flowering Plants») enthält minutiöse Beschreibungen.

Pflanzenbilder

images.google.ch

www.webshots.com

Selbst Spezialisten greifen heute regelmässig auf Bilder-Google zu, um schnell ein paar Bilder einer bestimmten Pflanzenart zu vergleichen. Sucht man jedoch hochaufgelöste digitale Bilder – vor allem von populären Pflanzen –, so liefert die Photosharing-Seite «Webshots» sehr viel Material, das von Google nicht verzeichnet wird.

Termine

Joseph Kopf

bis 5. August

Joseph Kopf (1929–1979) – «eines bettlers sternenaussatz»

Ausstellung in der Universitätsbibliothek Basel. Öffnungszeiten: Montag bis Freitag 8.30–19.30 Uhr, Samstag 8.30–12.30 Uhr. Eintritt frei. Schönbeinstrasse 20, Basel.

Namibia

6. Juli

Befreiungskampf Namibias – Geschichte und Bilder

Veranstaltung mit Namibia-HistorikerInnen und den AusstellungsmacherInnen. Veranstaltet vom Historischen Seminar der Universität Basel anlässlich der Ausstellung «Plakate im Kampf». 18 Uhr, Basler Afrika Bibliographie, Klosterberg 23, Basel.

Asthma und COPD

6. Juli

Asthma und COPD: Haben wir ein diagnostisches Problem?

Öffentliche Habilitationsvorlesung von PD Dr. Jörg Daniel Leuppi, Privatdozent für Innere Medizin, speziell Pneumologie. 18.15 Uhr, Aula der Museen an der Augustinergasse 2, Basel.

Nano-Konferenz

30. Juli bis 4. August 2006

ICN&T2006 – Internationale Konferenz über Nanowissenschaften und -technologie mit Publikumsausstellungen.

Internationale Konferenz aus Anlass von 25 Jahren Rastertunnelmikroskop und 20 Jahren Rasterkraftmikroskop. Mit «Nanorama», einer interaktiven Ausstellung für die Öffentlichkeit, in der die wichtigsten Themen der Nanowissenschaften und Nanotechnolo-

gie veranschaulicht werden (Eintritt frei, täglich von 10 bis 20 Uhr, Kongresszentrum Messe Basel), sowie einem «Nanotruck» (29. bis 31. Juli, Barfüsserplatz, Basel). www.nanorama.ch

Symposium

22. September

Leben und Lebensverlängerung

Symposium zu Ehren von Prof. Ulrich Gäbler, abtretender Rektor der Universität Basel. Mit Referaten von Prof. Ulrich Körtner, Institut für Systematische Theologie, Universität Wien, Prof. Susanne Gasser, Universität Basel/Friedrich-Miescher-Institut, Prof. Hartmut Lehmann, Max-Planck-Institut für Geschichte, Göttingen, Prof. Franz Müller-Spahn, Psychiatrische Universitätsklinik, Universität Basel, und Prof. Ulrich Gäbler (Schlusswort). 13.30 bis 17 Uhr, Aula des Kollegienhauses, Petersplatz 1, Basel.

Editionen

25. Oktober

Von der alten Handschrift zum lesbaren Buch. Ein Blick in die Werkstatt von Editionen, die in der UB entstehen

Vortrag von Dr. Hans Berner. 18 bis 19.15 Uhr, Universitätsbibliothek, Schönbeinstrasse 18–20, Basel (Platzzahl ist beschränkt; Anmeldungen und Information unter Tel. 061 267 31 00 oder info-ub@unibas.ch).

Einblick ins Körperinnere

bis 6. Mai 2007

Einblick ins Körperinnere

Sonderausstellung im Anatomischen Museum Basel, Pestalozzistrasse 20, Basel. Öffnungszeiten: Montag bis Freitag 14–17 Uhr, Sonntag 10–16 Uhr. Eintritt 5.–/3.–. www.unibas.ch/anatomie/museum

«Modell für Vermittlung»

UNI NOVA 102 (März 2006): Schwerpunkt «Musik»

Eben habe ich die «Musik»-Nummer 102 bekommen – und gleich vollständig gelesen. Sowohl inhaltlich wie in der Präsentation bin ich jetzt ganz einfach eifersüchtig, dass die Basler so etwas Informatives und Allgemeinverständliches machen können – ein Modell für die Vermittlung von Wissenschaft an ein ausseruniversitäres Publikum. Da ist die Tatsache, dass einer der Autoren, Matthias Schmidt, bei uns habilitiert ist, auch kein wirklicher Trost. Herzlichen Glückwunsch!

Prof. Jürg Stenzl, Universität Salzburg

Mit Interesse und Anteilnahme habe ich das Wissenschaftsmagazin vom März 2006 gelesen. Zentrales Thema war das Phänomen der Musik und ihre wissenschaftlichen Hintergründe und Beziehungen. Unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten fehlte aber just die Basis des Zusammenhangs zwischen den durch Schwingungen erzielten Tönen und den dadurch erzeugten Musikerlebnissen der Menschen und ihrer Erlebnismöglichkeiten im Umgang mit diesen physikalisch erzeugten Schwingungen. Bestehen allfällige Zusammenhänge zwischen kosmischen Struktu-

ren und musikalischen Gesetzmässigkeiten? Welche Gegebenheiten des menschlichen Gehörapparates sind Voraussetzung für musikalische Erlebnisse und damit verbundene Regeln und Gesetzmässigkeiten? Nachdem die Universität Basel über begabte Physiker, Spezialisten des menschlichen Gehörorgans, Neurologen und Astronomen verfügt, hätte es nahe gelegen, in einer wissenschaftlichen Zeitschrift die zur Diskussion stehenden Zusammenhänge zu erörtern. Im Heft bleiben die physikalischen und physiologischen Bezüge zu musikalischen Erlebnissen und der Tonbildung ausgeblendet.

Bernhard Gelzer, Basel

Ich habe mich sehr über die jüngste Ausgabe über Musik gefreut und möchte Ihnen dafür danken.

Martin Rüegg, Liestal

«Verfehltter Ansatz»

UNI NOVA 102 (März 2006): Kolumne «Sozialwissenschaften und Ungleichheit»

Bergman lässt in der Tendenz die Zielvorstellung «Gleichheit» durchblicken. Ungleichheit ist aber das universale Ordnungsprinzip des Kosmos. Wissenschaftlich wird dieses Prinzip mit der theoretischen Wärmelehre (Thermodynamik) beschrieben. Alles, was lebt, tut dies auf Grund von Unterschieden = Ungleichheit.

Die Gleichheit wäre das Ende aller Bewegung, allen Lebens, aller Ordnung schlechthin. Das Gleichheitsbestreben der Thermodynamik heisst Entropie, das Ende aller Temperaturunterschiede heisst Wärmetod. Alles, was lebt, braucht und hat Struktur. Eine soziologische Forschung hat nur Sinn, wenn sie die Struktur der sozialen Unterschiede als naturgesetzlich anerkennt. Die Abschaffung von Ungleichheit als Ziel wäre ein verfehltter, ideologischer (das heisst: unwissenschaftlicher) Ansatz, der gegen das Naturgesetz des Kosmos ankämpft.

Hans Berger, Birsfelden

UNI NOVA, Wissenschaftsmagazin der Universität Basel. Herausgegeben von der Öffentlichkeitsarbeit (Leitung: Hans Syfrig). UNI NOVA erscheint dreimal im Jahr (März, Juli, November) und kann in Einzelexemplaren kostenlos abonniert werden. Redaktion: Christoph Dieffenbacher Adresse: UNI NOVA, Öffentlichkeitsarbeit der Universität Basel, Postfach, 4003 Basel. Tel. 061 267 30 17, Fax: 061 267 30 13. E-Mail: ch.dieffenbacher@unibas.ch UNI NOVA im Internet: <http://www.unibas.ch> > Aktuell > UNI NOVA Wissenschaftsmagazin Gestaltungskonzept: Marianne Diethelm, Lukas Zürcher Mitarbeit an dieser Nummer: Text: Ueli Aebi, Manfred Max Bergman, Michel Calame, Hans-Jürgen Eisler, Bert Hecht, Martin Hegner, Jörg Lehmann, Daniel Loss, Marcel Mayor, Olivier J.F. Martin, Wolfgang Meier, Ernst Meyer, Christel Möller, Peter Mühlshlegel, Dieter W. Pohl, Peter Reimann, Patrizia Schmid, Christian Schönenberger, Heinz Schneider, Hannes Spillmann, Martin Stolz, Meike Stöhr, Andreas Taubert, Monika Wirth. Fotografie: Andreas Zimmermann, Claude Giger. Gestaltung: Lukas Zürcher. Korrekturen: Karin Müller. Druck: Reinhardt Druck AG, Basel. Inserate: Go! Uni-Werbung AG, Rosenheimstrasse 12, 9008 St. Gallen, www.go-uni.com Auflage: 17'000 Exemplare Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit Genehmigung der Herausgeberin. ISSN 1661-3147 (gedruckte Ausgabe), ISSN 1661-3155 (Online-Ausgabe)