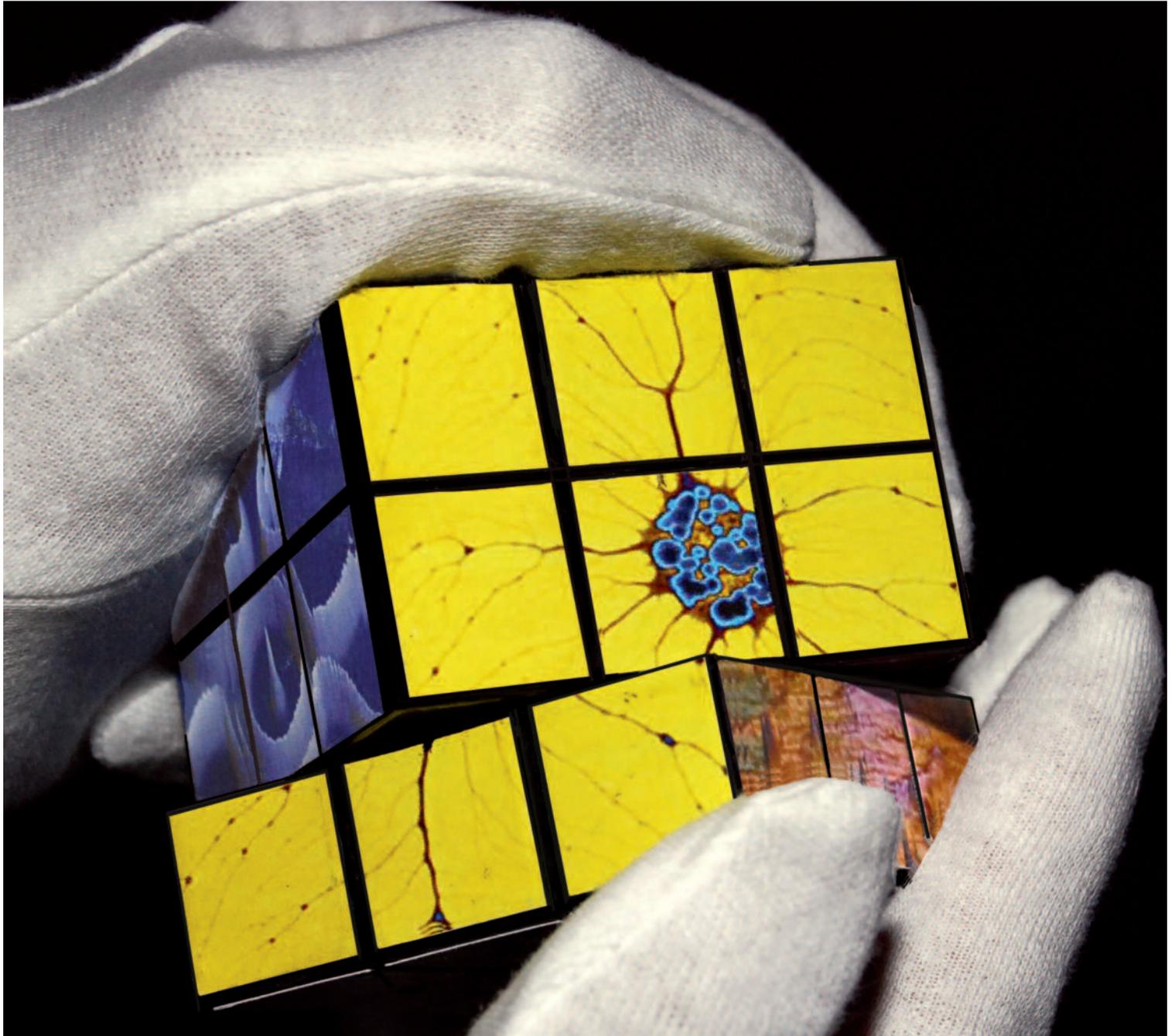


universitas

JUIN 2008 | 08

LE MAGAZINE DE L'UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, SUISSE | DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT FREIBURG, SCHWEIZ



Nanotechnologies quand tout s'imbrique !

Zukunftsträchtige
Forschung in Freiburg

Quand les nanos envahissent
notre quotidien

Ethische Grenzen der
Forschung im Nanobereich



Ein Nanometer ist von blossen Auge nicht erkennbar, damit kaum vorstellbar und auf gewisse Weise scheinbar unreal. Hohe Erwartungen an die Nanotechnologie und oftmals Unwissen lassen verheissungsvolle Utopien von der Errettung der Menschheit vor sämtlichen Krankheiten oder technischen Errungenschaften, die das alltägliche Leben revolutionieren, entstehen. Gleichzeitig bestehen Ängste vor möglichen Risiken; düstere Visionen von Wesen halb Mensch, halb Maschine lösen Alträume aus oder inspirieren allenfalls Hollywood zu Spielfilmen. Trotz verschwindend kleiner Einheiten regt der Nanobereich also zu schier grenzenlosem Fantasieren an und birgt für die Wissenschaft ungeahnte Möglichkeiten in unvorstellbaren Grössenordnungen.

An der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät werden seit den 1980er Jahren – und in verstärktem Ausmass seit der Gründung des Adolphe Merkle Instituts – Strukturen in der Grössenordnung von wenigen Nanometern manipuliert, Atome eingefangen und anderweitig

deponiert, um eine Änderung der Eigenschaften einer Materie zu bewirken. Diese Grundlagenforschung führt durch die Einbindung der Industrie schliesslich beispielsweise zur Entwicklung von kratzfesten Brillengläsern oder Schmutz abweisender Kleidung.

Trotz dem fest auf die winzigen Einheiten gerichteten Blick darf nicht vergessen gehen, dass der Fokus auch auf die ethischen Fragen zu richten ist. Die schier unbegrenzten Möglichkeiten, die die Nanotechnologie eröffnet, müssen sich – wenn sie den Menschen wirkungsvoll dienen und nicht schaden sollen – einer humanistischen Grundhaltung beugen.

Die vorliegende Nummer lädt dazu ein, einzutauchen in die Welt der Milliardstel Millimeter und Materie in einem neuen Licht zu entdecken.

Bonne lecture !

Die Redaktion

Sommaire - Inhalt

Im Fokus	> 4
Dossier : Nanotechnologie	
Ein Definitionsversuch	> 6
Wahrgewordene Visionen	> 8
Hohe Erwartungen an das AMI	> 12
Freiburg und Bern im gleichen Boot	> 16
Natur als Inspirationsquelle	> 17
Le pantalon anti-tâches n'est plus un rêve !	> 19
Was ist erlaubt?	> 21
Des nanos au Nobel	> 23
Strahlende Gefässe aus dem düsteren Mittelalter	> 26
Infektionen verhindern	> 27
Die Hitze macht's aus!	> 29
Panta rhei: Alles fliesst	> 32
Un nanomètre à pied, ça use...	> 34
Ängste ernst nehmen	> 37
Wenn im Labor Eisberge wachsen	> 40
Wenn elektrischer Strom Staunen auslöst	> 42
Etre chrétien en Irak	> 45
Projets & Rubriques	> 46

Les nanotechnologies, un atout pour Fribourg

L'importance des sommes engagées et les enjeux stratégiques, actuels et futurs, des nanotechnologies et de leurs applications nécessitent les éclaircissements de la Conseillère d'Etat Isabelle Chassot et du Recteur de l'Université de Fribourg, Guido Vergauwen, auxquels Universitas a adressé les mêmes questions.

im fokus



Universitas : Quels sont les débouchés stratégiques offerts au canton par la création et le développement de l'AMI ?

Isabelle Chassot : La création de l'AMI représente une chance extraordinaire pour l'Université et le canton de Fribourg. Ce centre de compétences en nanosciences permettra de renforcer le profil de la Faculté des sciences. L'intérêt de ce projet réside également dans son caractère interdisciplinaire. En effet, il ne se restreint pas à un domaine scientifique unique, mais implique différents Départements de la Faculté. C'est tout le paysage scientifique du Plateau de Pérolles qui sera transformé, de la Faculté des sciences économiques à l'Ecole d'ingénieurs en passant par la HEG. Il est important de souligner que l'AMI ne se concentrera pas seulement sur la recherche fondamentale. En effet, le vœu de son fondateur, Adolphe Merkle, est de jeter des ponts entre la recherche et ses applications pratiques, grâce à des collaborations avec les entreprises. Ces liens permettront, je l'espère, de dynamiser le tissu économique cantonal et, *in fine*, suisse. Un essor est notamment attendu dans le domaine des start-ups qui pourraient être créées par des personnes de l'AMI. Si l'AMI s'inscrit dans le concept cantonal fribourgeois de High-Tech in the Green, il est également en harmonie avec la Nouvelle politique régionale de la Confédération qui a l'ambition de valoriser les résultats de la recherche conduite au sein des Hautes Ecoles. C'est d'ailleurs le sens du projet déposé par la Promotion économique cantonale, qui vise à favoriser la collaboration entre les Hautes Ecoles et les milieux économiques.

D'importants efforts ont été consentis par le canton pour la mise en œuvre de l'AMI. D'autres domaines de recherche vont-ils également bénéficier d'un tel engagement ?

Le canton doit veiller à un développement équilibré de l'ensemble des activités des Hautes Ecoles. Il réalise parfois d'importants investissements dans un secteur donné, à l'image de celui consenti pour les bâtiments de Pérolles 2 qui abritent la Faculté des sciences économiques et sociales. Récemment, le canton de Fribourg a également décidé de concentrer ses efforts dans un domaine qui touche à son identité propre, à savoir celui du plurilinguisme. L'Etat a en effet institué une Fondation destinée à promouvoir la recherche et l'éducation dans ce domaine. Outre les 2,5 millions de francs investis pour doter cette Fondation, l'Etat assume également les dépenses en personnel liées à la création de plusieurs postes de professeurs et de chercheurs à l'Université et à la HEP. En ce qui concerne l'AMI, il revient à l'Etat de Fribourg de mettre à disposition les infrastructures, en l'occurrence l'achat et les transformations de l'ancienne clinique Garcia. Si ces investissements ont pu être rapidement décidés, c'est parce qu'ils étaient portés par le don extraordinaire d'Adolphe Merkle. Mais aussi parce que le canton avait, depuis quelques années, la volonté d'établir un pôle de compétences dans un domaine scientifique important. Grâce à l'aide de Monsieur Merkle, le canton et l'Université peuvent désormais se profiler dans un domaine chargé de promesses.

Une législation est-elle prévue pour promouvoir les résultats de recherche de l'AMI ?

Une législation particulière n'est pas nécessaire pour répondre à ce souhait de promotion des résultats de la recherche réalisée au sein de l'AMI. Il est évident que l'un des points forts de l'Institut sera la valorisation des recherches et leur application dans le monde économique. Le processus d'innovation, qui va de l'idée à sa réalisation commercialisable, sera l'une des préoccupa-

Das Adolphe Merkle Institut (AMI) widmet sich der Nanowissenschaft und Nanotechnologie und ist an der Naturwissenschaftlichen Fakultät angesiedelt.

tions des responsables de l'Institut. La mise en valeur de la connaissance et les règles concernant la propriété intellectuelle, et notamment «un droit de participation équitable» de l'inventeur à toute réalisation issue de ses recherches, sont déjà présentes dans la Loi sur l'Université.

La question de l'éthique liée aux recherches de l'AMI a-t-elle fait l'objet de débats au niveau politique ?

Il est évident que les responsables politiques intègrent les dimensions éthiques dans leurs décisions. La question est d'autant plus importante que toute nouvelle technologie suscite des interrogations. Je considère ces doutes de la société face aux nouvelles recherches comme légitimes. Il est donc indispensable d'intégrer dans ces recherches les questions qu'elles génèrent. L'AMI sera particulièrement sensible à ces aspects. Et en ce sens, cette attitude s'inscrit dans le «plan d'action» adopté récemment par le Conseil fédéral, lequel préconise un «développement durable de la nanotechnologie» tout en souhaitant un «débat public nuancé sur les chances et les risques» de ces nouvelles technologies. Au lieu d'en bloquer tout développement, il me semble nécessaire d'accompagner les recherches en trouvant des solutions qui répondent aux éventuels problèmes soulevés. ■

Universitas: Welche akademischen Perspektiven eröffnen sich für die Universität durch die Schaffung und die Entwicklung des AMI ?

Guido Vergauwen: Die Schaffung und die weitere Entwicklung des AMI dank der Schenkung von Dr. Adolphe Merkle geben der Universität die Möglichkeit, ihre auf die 1980er Jahre zurückgehenden Kompetenzen in Materialforschung um neue Dimensionen zu erweitern. Die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät erhält durch das Institut einen neuen «Leuchtturm»: Dank dem interdisziplinären Aufbau des AMI mit Professuren in Physik, Chemie, Biologie und Nanotechnologie wird die Lehre in den angestammten Fächern ausgeweitet und durch die Schaffung eines neuen, interdisziplinären Masterprogramms in Nanowissenschaft bereichert.

Welche Strategie verfolgt die Universität, um das AMI ins Rampenlicht der internationalen Wissenschaft zu bringen ?

Da das AMI ja nicht auf der «grünen Wiese» gegründet wurde, sondern auf bestehenden Kompetenzen aufbaut, ist es von Anfang an in der internationalen Szene sehr präsent. So ist das Institut bereits ein gewichtiger Partner in den europäischen «Networks of Excellence», die von der Europäischen Union mitfinanziert werden.

Die Forschungsgruppe von AMI-Direktor Peter Schurtenberger hat erfolgreich Forschungsprojekte im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU und auch beim Schweizerischen Nationalfonds eingereicht. Kern der Strategie des Instituts ist es, bei aktuellen und künftigen internationalen und nationalen Forschungsprogrammen und Netzwerken in Nanowissenschaften eine massgebliche Rolle zu übernehmen und dabei selbst neue Projekte in diesem Feld zu lancieren und zu leiten.

Wird die Universität bei der Wahl der Forschungsprojekte des AMI mitbestimmen können ?

Als Universitätsinstitut profitiert das AMI von der Forschungsfreiheit, die durch das Universitätsgesetz garantiert ist. Dies ist ein bedeutender Unterschied im Vergleich etwa zu einem privaten Forschungszentrum. Das AMI bestimmt somit seine Forschungsagenda für die Grundlagenforschung gemeinsam mit einem hochkarätig besetzten wissenschaftlichen Beirat selbst. Viele Projekte werden nach dem «bottom up»-Prinzip beim Schweizerischen Nationalfonds und beim European Research Council eingereicht werden. Die finanzielle Förderung erfolgt dabei ausschliesslich aufgrund von wissenschaftlichen Exzellenzkriterien und ohne inhaltliche Vorgaben. Auch wird das Institut die Freiheit haben, mit anderen Institutionen, die national und international in den Nanowissenschaften tätig sind, Kontakte zu pflegen und gemeinsam zu forschen. Schliesslich wird das Institut auch eigenständig Programme entwickeln können, die es Forschern aus Universitäten und Industrie erlauben, die Ergebnisse der Forschung in verschiedene Anwendungsbereiche zu transferieren.

Gehört die Frage der Ethik, stets hochgehalten an der Universität Freiburg, mit zu den Prioritäten im Zusammenhang mit der Entwicklung des AMI ?

Auch in dieser Hinsicht profitiert das AMI davon, Teil der Universität zu sein: Es kann echte Grundlagenforschung betreiben, ohne von Anfang an auf kommerzielle Interessen achten zu müssen. Richtig verstandene Grundlagenforschung bedeutet, dass man mit offenem und kritischem Geist arbeitet, sein Tun ethisch reflektiert und sich den unbequemen Fragen stellt, ohne auf die Interessen eines Auftraggebers Rücksicht nehmen zu müssen. Auf der Basis dieser unabhängigen Grundlagenforschung wird das AMI als starker, gleichberechtigter Partner von Unternehmen bei der industriellen, wirtschaftlichen und zugleich nachhaltigen, umweltgerechten Nutzung seiner Forschungsergebnisse auftreten können. ■



Nanosciences – Nanowissenschaften

Eine allgemeingültige Definition des Begriffs existiert nicht, bzw. die existierenden Definitionen sind so eng gefasst, dass die Mehrheit der heutzutage unter diesem Begriff im allgemeinen Sprachgebrauch subsumierten Aspekte gar nicht abgedeckt werden.

von Titus Jenny

dossier

So sind die Nanowissenschaften zu einem Berührungsbereich verschiedener (zuvor getrennter) Wissenschaften geworden, nämlich:

- der Physik, die nach der ständig weiter getriebenen Verkleinerung der Strukturen im Sub-Mikrobereich angelangt ist und hier auf Effekte stösst, die sich mit Verkleinerung allein nicht mehr erklären lassen;
- der Chemie, die ausgehend von atomaren und molekularen, im Sub-Nanometerbereich angesiedelten Strukturen, in immer grösserskalige Bereiche vorstösst;
- der Biologie (oder ganz allgemein der Life-Sciences), in welcher nanoskalige Organisationseinheiten schon immer den eigentlichen Schlüssel zum Verständnis biologischer Prozesse gebildet haben.

Hinzu kommt die Entwicklung neuer mikroskopischer Techniken, welche die Abbildung von Nanostrukturen erlauben. Nanowissenschaften sind aber mehr als nur ein Forschungsgebiet in einem durch Längenangaben begrenzten Gebiet, denn zusätzliche spezifische Effekte treten nur in diesem Bereich auf und sind ihm typisch:

- in keinem anderen Bereich spielen Oberflächen eine derart grosse Rolle, denn bei grösseren Objekten überwiegt der Rauminhalt stets bei weitem die Oberfläche, bis hin zur völligen Vernachlässigung der Oberflächenbeschaffenheit;
- bei Subnanometer-Objekten verwischt sich die Unterscheidung zwischen Oberfläche und Inhalt, denn Moleküleigenschaften lassen sich weder durch Oberfläche noch Inneres getrennt erklären;
- die Welt der Atome und Moleküle ist quantisiert, d.h. alle Zustände sind nicht kontinuierlich, sondern liegen nur diskontinuierlich oder eben «gequantelt» vor. Vom Mikrometerbereich an aufwärts spielen dagegen Quantenzustände keine wahrnehmbare Rolle mehr. Nur im Nanobereich überschneiden sich die beiden Welten.

Wie nicht anders zu erwarten hat sich auch die

Science-Fiction der Nanowelt bemächtigt, meist unter Missachtung der soeben skizzierten Diskontinuität der Eigenschaften, wodurch Angst einflössende, aber völlig irrealistische Vorstellungen entstehen können. Die Wissenschaft bemüht sich deshalb, die positiven neuen Eigenschaften der durch Nanotechnologie möglich gewordenen Anwendungen hervorzuheben, auch wenn gewisse Gefahren (wie bei allen technischen Bereichen) nicht zu verharmlosen sind. ■

Histoire fribourgeoise des nanotechnologies

Au cours des années 1980, l'Université de Fribourg constitue un groupe de plus de 20 chercheurs dans le domaine des nouveaux matériaux et surfaces, sous la direction du professeur en physique expérimentale Louis Schlapbach.

Un réseau interdisciplinaire de professeurs et de chercheurs en physique, chimie, géosciences et sciences de la vie se tisse autour du groupe du Prof. Schlapbach. Fruits de ce réseau, 40 doctorats, de nombreux brevets et 200 articles dans des publications.

Parti prendre la direction de l'EMPA en 2001, le Prof. Schlapbach est remplacé par le Prof. Peter Schurtenberger, scientifique au sein de l'Alma mater depuis 1999. La recherche de pointe dans la science des matériaux se poursuit, s'étendant désormais au domaine spécifique des matières molles condensées. En parallèle, les liens avec l'industrie privée se renforcent.

En 2006, grâce à une donation d'Adolphe Merle et en partenariat avec l'EMPA, le «Fribourg Center for Nanomaterials», ou FriMat, est créé.

Une nouvelle donation d'Adolphe Merkle en 2008 permet la fondation de l'Institut Adolphe Merkle, un tournant pour l'Université de Fribourg.

Titus Jenny ist Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät und assoziierter Professor am Departement Chemie.
titus.jenny@unifr.ch

Nanosciences – maxidéfis éthiques

Difficile, voire impossible pour un théologien (pastoral) de commenter avec pertinence les définitions proposées par le Prof. et Doyen Titus Jenny. Sinon en balbutiant quelques réactions d'admiration et d'étonnement intrigué, voire inquiet.

par François-Xavier Amherdt

dossier

Nanowissenschaften – Maxi-Herausforderung für die Ethik

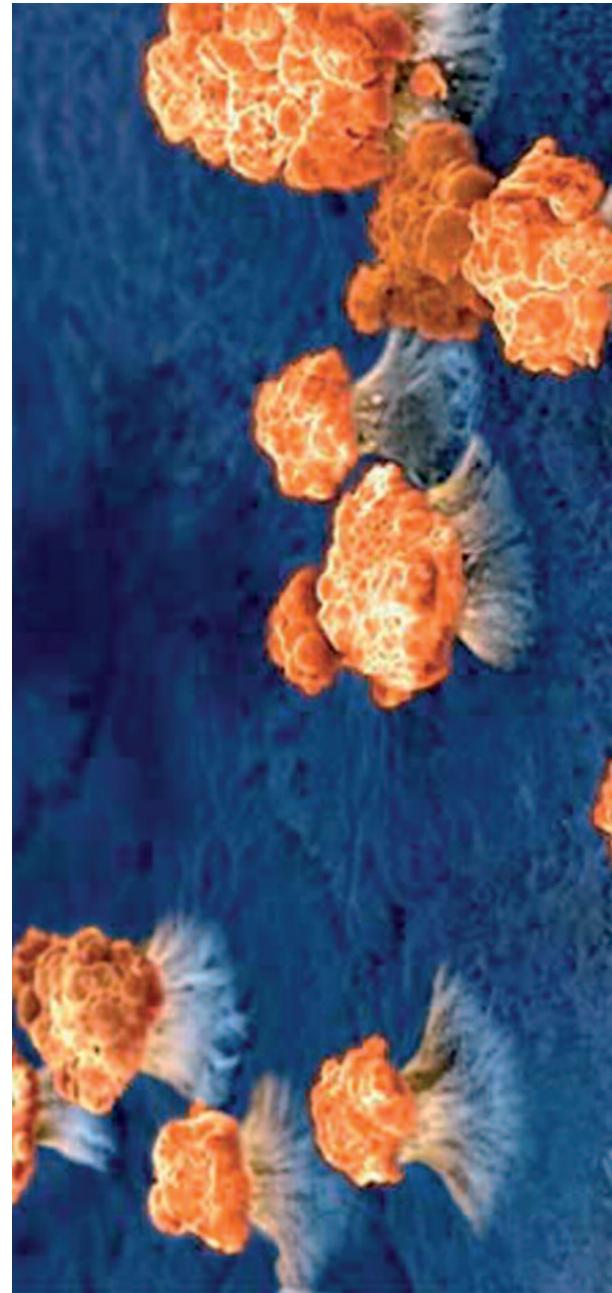
Es ist schwierig, wenn nicht gar unmöglich für einen Theologen, die von Prof. und Dekan Titus Jenny vorgeschlagenen Definitionen sachkundig zu kommentieren – es kann jedoch Bewunderung und neugieriges oder gar besorgtes Erstaunen ausgedrückt werden. Die tiefe Bewunderung wird in Anbetracht der Komplexität der Materie und der Fortschritte der Nanowissenschaften hervorgerufen. Das Erstaunen rührt von der Tatsache her, dass die unendlich kleinen Realitäten keine Unterscheidung zwischen «Inhalt» und «Oberflächenbehältnis» mehr ermöglichen.

Die «Irrealität» der beobachteten «Realitäten» und der in Betracht gezogenen Perspektiven beunruhigen mich ein wenig. Wie kann die Wissenschaft der Fiktion entkommen? Werden die Nanotechnologien unser Weltbild verändern?

Admiration fondamentale devant la complexité de la matière et les avancées des nanosciences, capables de percevoir dans l'infiniment petit le reflet de l'immensité du cosmos. Au point que s'y rejoignent la physique, la chimie, la biologie, les sciences de la vie et les techniques microscopiques dans une complémentarité indispensable.

Etonnement devant le fait que, davantage que dans les autres dimensions, les réalités infinitésimales n'offrent plus de distinction entre «contenu» et «contenant de surface». Mais tout objet, même plus gros, ne doit-il pas se laisser considérer dans sa totalité, autant dans son «intérieur» que dans son «extérieur»? L'un ne va-t-il pas toujours avec l'autre? J'ai peine à saisir ce qui fait la spécificité des objets «subnanométriques» dans ce registre. De même, comment se fait-il que les données quantitatives des micro-objets ne joueraient plus de rôle perceptible? La notion de matière quantitative s'évanouirait-elle? Mais alors comment qualifier les structures subnanométriques sur lesquelles se penchent les nanosciences?

Ce qui me laisse un brin inquiet devant «l'irréalité» des «réalités» observées et des perspectives envisagées. Sur quoi vont-elles déboucher véritablement si les propriétés habituelles de la matière volent en éclats? Comment la science échappera-t-elle à la fiction? Les nanotechnologies modifieront-elles notre image du monde? Sont-elles porteuses de promesses messianiques, ou alors susceptibles d'engendrer les craintes les plus profondes? De «maxi-giga-défis» pour les sciences de l'infiniment petit. Cependant, et c'est le théologien qui ose s'exprimer ainsi, le Créateur n'aurait-il pas laissé «sa griffe» à tous les échelons de l'Univers, de l'infiniment grand à l'abyssalement petit? ■



L'abbé François-Xavier Amherdt est professeur associé de théologie pastorale, pédagogie religieuse et homilétique à la Faculté de théologie. francois-xavier.amherdt

Herausforderung der Nanotechnologie

Der Begriff Nano hat Wissenschaft, Öffentlichkeit und Wirtschaft in ihren Bann geschlagen wie kaum ein anderes Thema zuvor. Die Nanotechnologien werden als Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts angesehen, die nahezu unbegrenzte Möglichkeiten versprechen. Gleichzeitig lösen Visionen von Nanorobotern existenzielle Ängste aus. Was bedeutet Nano, und worum geht es in den Bereichen Nanowissenschaften und -technologie?

von Peter Schurtenberger

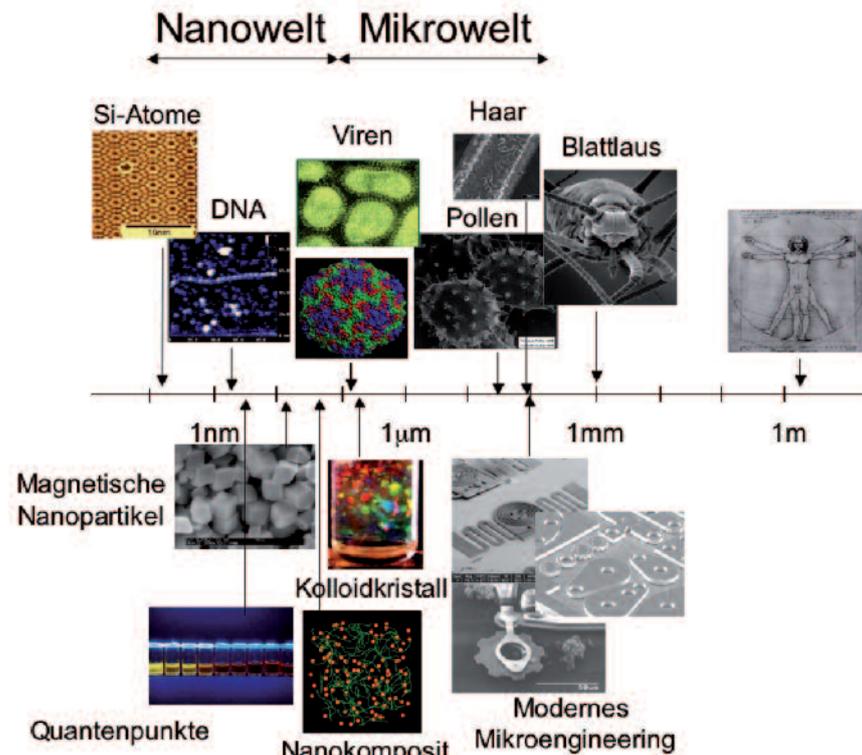
dossier

Nanotechnologies, défi interdisciplinaire

L'étalon qui a cours dans le monde nano est le nanomètre, qui correspond à un milliardième de mètre (10^{-9} m). Pour exemple, le diamètre du cheveu humain est 100000 fois plus grand qu'un nanomètre. La nature regorge de nanostructures, telles que l'ADN, les virus ou les bactéries. Des structures nano perfectionnées, issues de la nature, et que les scientifiques aimeraient reproduire à des fins technologiques. Les Egyptiens, déjà, ont recouru à la nanotechnologie, sans s'en rendre compte, en utilisant de petits nanocristaux pour des colorations capillaires particulièrement intenses. Mais pourquoi cette attraction pour les nanotechnologies ? La réduction à l'échelle du nanomètre change souvent les caractéristiques mécaniques, optiques, magnétiques, électriques ou catalytiques d'une structure. Et ces nouvelles caractéristiques ont déjà trouvé place dans notre quotidien, par exemple de nouvelles protections UV. Le futur des nanosciences et des nanotechnologies se situe clairement au-delà des frontières des sciences classiques, mais de réels progrès ne seront atteints que par une collaboration interdisciplinaire entre les différentes branches de la science.

Nano bezeichnet die Größenordnung eines Milliardstels (0,000 000 001 oder 10^{-9}), und in den Nanowissenschaften und -technologien dreht sich alles um Eigenschaften von Materie auf Längenskalen von Nanometern (nm). Ein Nanometer als Längenmassstab ist für uns fast unvorstellbar klein, und wir werden uns seiner Winzigkeit am besten über Vergleiche mit uns bekannten Objekten bewusst. So ist der Durchmesser eines menschlichen Haars mit ca. einem Zehntel eines Millimeters immer noch 100'000 mal grösser als ein Nanometer. Die

Natur ist voll von Nanostrukturen, die sie im Verlauf ihrer Evolution über Jahrtausende zu höchster Vollendung gebracht hat. Die DNA als Träger der genetischen Information ist nur 2,5 nm dick, Viren mit Dimensionen von oft weniger als 100 nm können fast überall im Körper hingelangen und Bakterien besitzen ein System von Nanosensoren und -motoren, die es ihnen erlauben, sich in der Nanowelt zu orientieren und fortzubewegen. Diese von der Natur perfektionierten Strukturen und Maschinen haben denn auch die Wissenschaftler



Peter Schurtenberger ist Direktor des Adolphe Merkle Instituts.
peter.schurtenberger@unifr.ch

Beispiele von natürlichen und künstlichen Objekten aus der Nano-, Mikro- und Makrowelt

früh dazu gebracht, über die Möglichkeiten nachzudenken, die die Nanowelt für technologische Anwendungen bieten würde.

Rückblick

Als eigentlicher Vater der Nanotechnologie gilt der Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman, der in einem Vortrag vor der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft den berühmt gewordenen Satz «there is plenty of room at the bottom» (Ganz unten ist eine Menge Platz) aussprach und damit auf die Möglichkeiten hinwies, die mit atomarer Präzision gebaute molekulare Strukturen und Maschinen bieten würden. In einer wissenschaftlichen Publikation verwendete dann der japanische Wissenschaftler Norio Taniguchi 1974 zum ersten Mal den Begriff Nanotechnologie, der sich seither über die ursprünglich eng ausgelegte Definition einer Veränderung von Materialien auf der Basis einzelner Atome oder Moleküle zum heute viel weiter gefassten Begriff der gezielten Herstellung und/oder Manipulation von einzelnen Nanostrukturen und nanoskaligen Materialien gewandelt hat. Im heutigen Sprachgebrauch verwendet man Nanowissenschaften und -technologie für alles, was sich mit Strukturen befasst, die in mindestens einer Dimension kleiner als 100 nm sind, und das sich die charakteristischen Effekte und Phänomene zunutze macht, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Grössenordnung auftreten. Genau betrachtet waren es allerdings weder Richard Feynman noch Norio Taniguchi, die sich als erste der Nanotechnologie bedienten. Tatsächlich haben dies bereits die alten Ägypter unbewusst getan, indem sie kleine Nanokristalle, so genannte Quantenpunkte, für besonders intensive Haarfärbemittel verwendet haben. Auch mittelalterliche Glasfenster verdanken die besonders leuchtenden roten und gelben Farben den Einschlüssen von Gold- und Silbernanopartikeln im Glas.

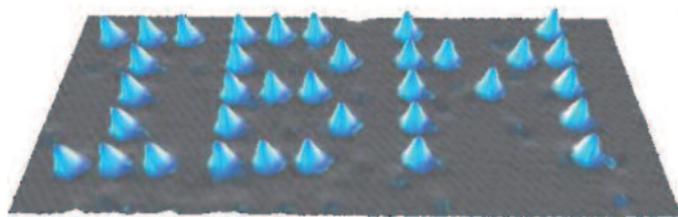
Die Rolle neuer Methoden

Die moderne Nanotechnologie mit ihrer gezielten Herstellung und Charakterisierung von nanoskaligen Materialien ist allerdings erst durch die Entwicklung von Methoden möglich geworden, die es erlauben, Strukturen auf der Grössenordnung Nanometer darzustellen und auch zu manipulieren. Ein Paradebeispiel dafür ist das Rastertunnelmikroskop (RTM), das zu Beginn der 80er Jahre erfunden wurde und für das die IBM Forscher Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1986 den Nobelpreis für

Physik erhielten. Mit diesem Mikroskop wird eine Oberfläche mit einer feinen Spitze berührungsfrei abgetastet, und der dabei fließende und nur mit Hilfe der modernen Quantentheorie zu verstehende Tunnelstrom erlaubt dann die Herstellung eines dreidimensionalen Abbildes der Oberfläche, in dem auch noch einzelne Atome aufgelöst werden können. Mit dem RTM können aber Atome nicht nur sichtbar gemacht, sondern sogar manipuliert, eingefangen und an einer bestimmten Stelle wieder deponiert werden. So konnten IBM Forscher bereits Anfang der 90er Jahre den Namen ihres Arbeitgebers mit Hilfe von einzelnen Xenon-Atomen auf einer Nickeloberfläche darstellen. Andere wichtige Methoden für die Nanocharakterisierung sind das Elektronenmikroskop und Streumethoden wie die Röntgen- und Neutronenstreuung, die ebenfalls entscheidend zum Fortschritt der Nanowissenschaften beigetragen haben.

Nanomaterialien und ihre Eigenschaften

Was macht die Nanotechnologie nun so attraktiv? Die Verkleinerung von Strukturen in den Nanometerbereich ist oft verbunden mit einer dramatischen Änderung der mechanischen, optischen, magnetischen, elektrischen oder katalytischen Eigenschaften. Grund dafür ist einerseits die Tatsache, dass beim Übergang in die Nanowelt zunehmend Effekte der Quantenmechanik dominieren. Verbunden mit der enormen Vergrößerung der Oberfläche, die mit einer Verkleinerung der Strukturen einhergeht, führt das zu veränder-



D.M. Eigler, E.K. Schweizer. Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature* 344, 524-526 (1990).

ten oder sogar völlig neuartigen Eigenschaften, die in einer Reihe von Anwendungen, wie z. B. transparenten Sonnenschutzmitteln mit hohem UV-Schutz oder kratzfesten Lacken, bereits in unseren Alltag vorgedrungen sind. Besonders deutlich kommt dies in den optischen Eigenschaften nanoskaliger Materie zum Ausdruck. Während wir alle Gold mit einer gelben (oder eben «goldgelben») Farbe assoziieren, so sind Nanopartikel aus Gold rot, wobei der Farbton von der Grösse der Partikel abhängt. Ein anderes spektakuläres Beispiel sind Quantenpunkte, d.h. kleine Halbleiterkristalle mit Dimensionen zwischen 1-10 nm, die je nach Grösse bei Anregung mit Licht brillante Fluoreszenzfarben in unterschiedlichen Wellenlängen emittieren und bereits als ideale Markiersubstanzen vielfältige Anwendung in der Biologie finden.

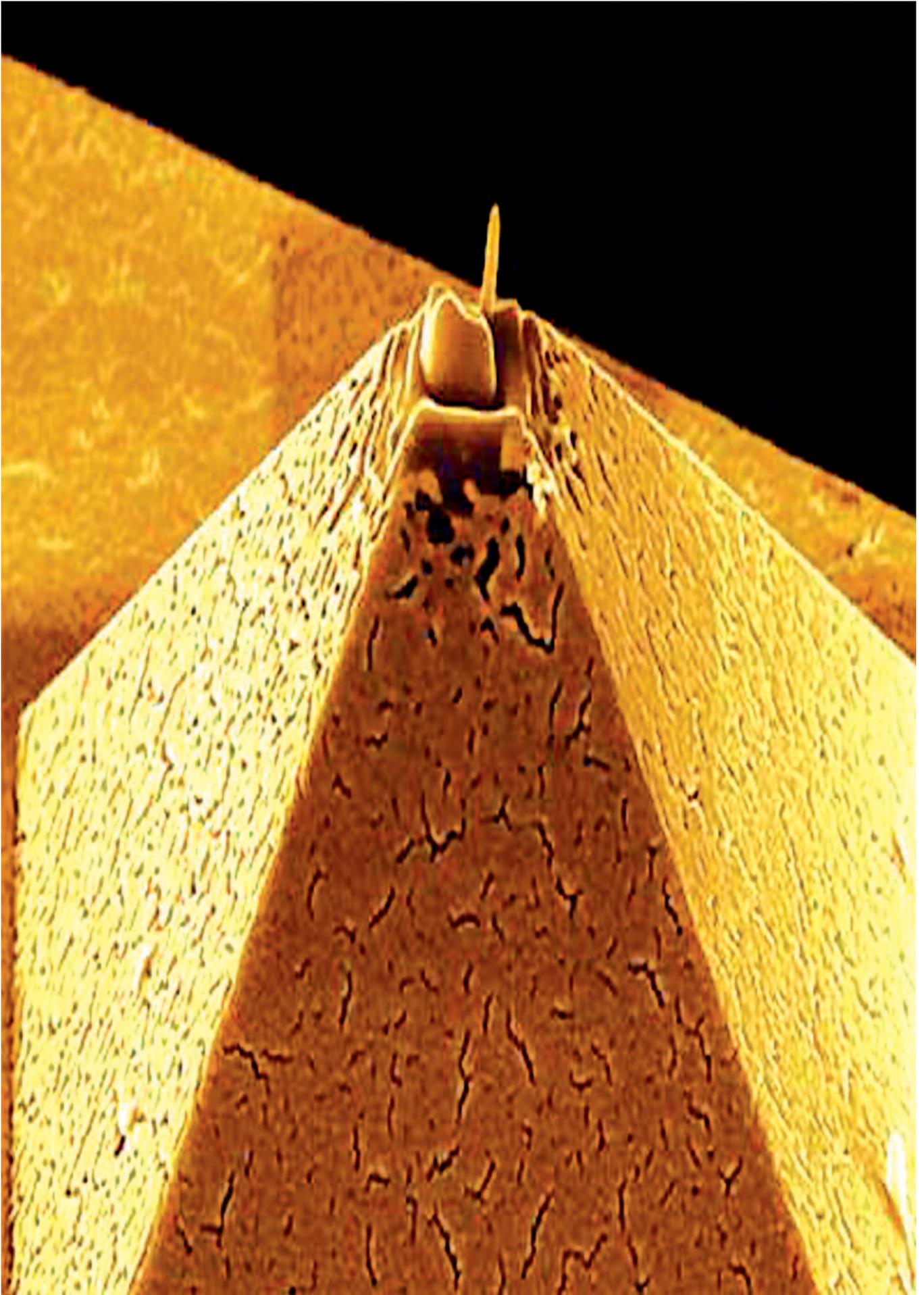
Interdisziplinäre Herausforderung

Währenddem die öffentliche Wahrnehmung geprägt ist von den Versprechungen der Nanotechnologie und von den durch oft vollkommen absurde und unrealistische «Visionen» im Stil des Buches «Engines of Creation» des Wissenschaftlers Eric Drexler erzeugten Ängsten, so sieht die Realität zur Zeit noch ganz anders aus. In der Forschung beschäftigt man sich vorwiegend mit den Nanowissenschaften, in denen die wissenschaftlichen Grundlagen für technologische Anwendungen erst noch erarbeitet werden. Dennoch zeichnet

sich ein Trend ab bezüglich der Art und Weise, wie in diesem Wissenschafts- und Technologiebereich gearbeitet werden muss. Bei den Nanomaterialien geht die Entwicklung zum Beispiel Richtung komplexe Systeme, in denen funktionelle und oft responsive Nanopartikel verbunden werden mit organischen Materialien, um in hierarchischen Multischichtsystemen oder Kompositen zu Materialien mit massgeschneiderten Eigenschaften zusammengefügt zu werden. Sehr oft kommen dabei auch Bauprinzipien zum Tragen, die der Natur abgeschaut werden, und anstelle von klassischen Fertigungstechniken («top down») werden Selbstassoziationsprinzipien oder so genannte «bottom-up» Techniken auf der Basis einer der Natur nachempfundenen weichen Nanotechnologie verwendet. Es ist klar, dass dabei die Grenzen der klassischen Naturwissenschaften wie Physik, Chemie oder Biologie überschritten werden und Fortschritt nur in einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Vertreter der verschiedensten Wissenschafts- und Technikbereiche erreicht werden kann. Dies muss natürlich auch Eingang finden in der Ausbildung zukünftiger Generationen von Nanowissenschaftlern und in den Strukturen der sich mit Nanowissenschaften und -technologie befassenden Forschungsinstitutionen. ■



Fluoreszierende Quantenpunkte unterschiedlicher Grösse



Das Adolphe Merkle Institut

«Grosse Schenkung für die Universität Freiburg», «Universität Freiburg bekommt dank einer Grossspende ein Forschungsinstitut»: Diese und ähnliche Schlagzeilen waren Ende November 2007 auf den Titelseiten von fast allen Schweizer Tageszeitungen zu sehen. Was ist seither geschehen? Und was bedeutet dies für die Universität Freiburg, den Kanton und die schweizerische Forschungslandschaft?

dossier

von Peter Schurtenberger

L'AMI, centre de recherche d'excellence

«Un don exceptionnel de 100 millions de francs en faveur de l'Université de Fribourg», tels étaient les titres des journaux à la fin novembre 2007. Et depuis ? Une grande partie de cette donation privée a permis la création d'un institut de recherche indépendant et de dimension internationale dans le domaine des nanomatériaux, l'Institut Adolphe Merkle (AMI). La recherche fondamentale et appliquée sur les nanosciences en constituera l'axe de travail principal. Le développement d'un programme de recherche interdisciplinaire et une étroite collaboration au sein de l'Institut et avec les départements de la Faculté des sciences, à laquelle l'AMI est rattaché, permettra des synergies nouvelles. Dans une optique d'ouverture, des chercheurs d'autres universités et de l'industrie seront invités à collaborer aux projets de l'AMI. Et l'Université de Fribourg engagera des scientifiques de renom dans la recherche fondamentale, ainsi que dans la recherche appliquée, en collaboration avec l'industrie. Le premier groupe de recherche travaille depuis janvier 2008, et, à la même époque, a été décidée la transformation de l'ancienne clinique Garcia en un espace qui pourra accueillir, début 2011, savants et recherche de pointe.

Ein Grossteil dieser für die Schweiz einzigartigen Spende wird für den Aufbau eines wissenschaftlich unabhängigen, vollständig durch die Adolphe Merkle Stiftung getragenen und der Nanowissenschaft und Nanotechnologie gewidmeten Instituts der naturwissenschaftlichen Fakultät verwendet werden. Das Adolphe Merkle Institut (AMI) soll die ihm zugrunde liegende Vision von Adolphe Merkle umsetzen, die Universität Freiburg über eine international führende Grundlagenforschung noch stärker zu profilieren und gleichzeitig durch die Zusammenarbeit mit der lokalen, nationalen und internationalen Industrie für eine nachhaltige private Finanzierung zu sorgen, sowie die Attraktivität von Freiburg für neue Firmen im Hightech-Bereich zu erhöhen.

Das Institut wird im Vollausbau vier Lehrstühle beherbergen, deren Leiter alle den Titel eines ordentlichen Professors tragen werden. Die Dozenten und Wissenschaftlerinnen des Institutes werden auch im Unterricht eine wichtige Rolle spielen. Im Vordergrund steht dabei die Schaffung eines durch das «Fribourg Center for Nanomaterials» (FriMat) koordinierten spezialisierten Masterprogramms in Nano- und Materialwissenschaften, im Rahmen dessen die Studierenden eine fundierte Ausbildung in einem zukunftssträchtigen Wissenschafts- und Technologiebereich erhalten und ihnen eine einmalige Gelegenheit geboten wird, mit modernsten Experimentiereinrichtungen arbeiten zu können.

Als Themenbereich für die AMI-Forschung ist das attraktive Gebiet der reinen und angewandten Nanowissenschaften gewählt worden. Dabei wird ein besonderes Gewicht auf den Ausbau eines interdisziplinären Forschungsprogramms gelegt, in dem die AMI-Gruppen durch eine enge Zusammenarbeit innerhalb des Institutes und mit den Departementen der

Fakultät zusätzliche Synergien schaffen sollen. Darüber hinaus wird AMI Hand bieten für gemeinsame Anstellungen innerhalb der Fakultät, um so seine Infrastruktur und seine Kompetenzen der Fakultät noch besser zur Verfügung zu stellen. Eine erfolgreiche Forschung in Nanowissenschaften und -technologie kann nur in einem internationalen Kontext erfolgreich sein. Deshalb werden wir ein Besucherprogramm entwickeln, das es Forschenden aus Universitäten und Industrie erlaubt, für kürzere oder längere Zeiträume gemeinsam mit AMI-Wissenschaftlern Projekte durchzuführen. Auf diese Weise werden wir ein lebendiges wissenschaftliches Begegnungszentrum kreieren, in dem Wissenschaftler in einer internationalen Umgebung neue Zusammenarbeiten beginnen und gemeinsam an der Lösung von Problemen der Zukunft arbeiten können.

Die Nanotechnologie ist heute ein ausserordentlich stark wachsender Wissenschafts- und Technologiebereich, auf dem einerseits sehr grosse Erwartungen und Hoffnungen ruhen, der andererseits aber auch geprägt ist durch einen intensiven internationalen Wettbewerb. Eine international erfolgreiche Spitzenforschung in Nanowissenschaften und -technologie bedingt durch die besonderen Anforderungen des Gebietes, in dem winzige Strukturen gebildet, untersucht und angewendet werden müssen, auch enorme Investitionen in teure experimentelle Einrichtungen, die zunehmend die Möglichkeiten der Universitäten übersteigen. Hier bietet sich der Universität Freiburg dank der Adolphe Merkle Stiftung eine einmalige Möglichkeit, im nationalen und internationalen Wettbewerb eine führende Rolle zu übernehmen. Dank den hervorragenden Arbeitsbedingungen wollen wir profilierte Spitzenwissenschaftler anwerben,

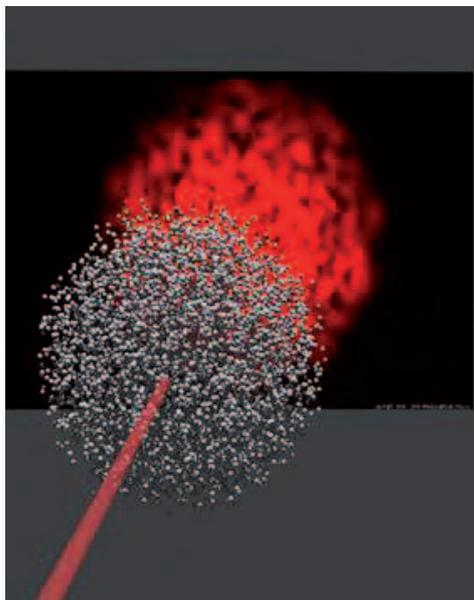
Peter Schurtenberger ist Direktor des Adolphe Merkle Instituts.
peter.schurtenberger@unifr.ch

die neben der Grundlagenforschung auch langfristig ausgerichtete angewandte Forschung im Zwischenbereich von Grundlagenforschung und Produktentwicklung, sowie kurzfristige Auftragsforschung und Beratungsaufträge vornehmlich für KMU's durchführen sollen. Auf diese Weise wird AMI auch die gesellschaftspolitisch wichtige Rolle eines Denk- und Forschungszentrums für innovative KMU's, nationale/internationale Privatfirmen und die öffentliche Hand spielen können. Besonders attraktiv für KMU's wird die Einrichtung eines Applikationslabors sein, in dem diese uneingeschränkter Zugang zu einer weltweit führenden Laborinfrastruktur mit entsprechender Betreuung durch die Wissenschaftler von AMI erhalten. Die Forschungsaktivitäten werden durch eine Technologietransferstelle ergänzt und begleitet. Diese wird in enger Zusammenarbeit mit dem neu zu gründenden Lehrstuhl für Innovationsmanagement und Technologietransfer der wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Fakultät und den Fachhochschulen geführt werden, um so den Wissenschaftspol im Plateau de Perolles entscheidend zu stärken.

Wie sieht nun die unmittelbare Zukunft des AMI aus? Bereits im Januar 2008 hat die erste Arbeitsgruppe ihre Tätigkeit aufgenommen, die sich auf die «weichen» Nanowissenschaften konzentriert, in denen die Eigenschaften von Nanopartikeln und Polymeren erforscht werden. Die Gruppe folgt dabei einem hochgradig interdisziplinären Forschungsansatz, in dem in einer intensiven Zusammenarbeit von Chemikern und Physikern neue Erkenntnisse erzielt und bessere Materialien hergestellt werden sollen. Dabei wird versucht, Ergebnisse aus der Grundlagenforschung im Bereich der weichen Materie für die Entwicklung und die Anwendung nanostrukturierter Materialien mit neuartigen Eigenschaften einzusetzen. So synthetisieren Wissenschaftler des AMI zuerst massgeschneiderte multifunktionale Nanopartikel als Bausteine und nützen danach ihre Kenntnisse über Wechselwirkungen zwischen diesen Bauelementen aus, um dadurch nanostrukturierte Materialien mit neuartigen und einstellbaren Eigenschaften zu kreieren.

Gleichzeitig läuft die Planung für den Ausbau der experimentellen Infrastruktur und den Bezug eines eigenen Institutsgebäudes auf vol-

len Touren. Die für den Aufbau des Institutes benötigte Infrastruktur wird durch eine Initiative des Kantons Freiburg und mit Hilfe einer weiteren großzügigen Spende von Herrn Merkle in den nächsten Jahren im Gebäude der ehemaligen Klinik Garcia aufgebaut. Das neue Gebäude, das neben modernsten Labors auch genügend Platz für das Besucherprogramm bieten wird, steht voraussichtlich Anfang 2011 zur Verfügung. Die Planung für die zukünftige wissenschaftliche Ausrichtung der übrigen drei Gruppen ist ein weiterer wichtiger Meilenstein für das neue Institut. Zu diesem Zweck ist ein internationales wissenschaftliches Beratergremium gebildet worden, das die optimale Einbindung des AMI in die schweizerische und internationale Forschungslandschaft garantieren wird. Wenn alles rund läuft, dann sollte das neue Institut in drei bis vier Jahren in voller Besetzung seine Aufgabe als wissenschaftlicher Leuchtturm der Universität in diesem ausserordentlich spannenden und zukunftssträchtigen Wissenschaftsbereich wahrnehmen und die Forschung in den Nanowissenschaften in Freiburg entscheidend stärken. ■



Fribourg Center for Nanomaterials

Im Frühjahr 2006 konnte dank einer grosszügigen Schenkung von Adolphe Merkle das «Fribourg Center for Nanomaterials» (FriMat) gegründet werden. Es umfasste zunächst die Gruppen von Peter Schurtenberger, Frank Scheffold, Raffaele Mezzenga und Christian Bernhard (Physik), sowie die Gruppe von Bernard Grobety (Geowissenschaften). Kurz darauf wurde FriMat durch die neu geschaffene Gruppe von Katharina Fromm (Chemie) verstärkt.

von Christian Bernhard

dossier

Nanotechnologies au quotidien

Le Centre FriMat se structure autour des groupes de recherche sur la soft matter (Profs Peter Schurtenberger, Frank Scheffold et Raffaele Mezzenga) et la physique des solides (Prof. Christian Bernhard) du Département de physique, de l'équipe du Prof. Bernard Grobety (géosciences) et de celle de la Prof. Katharina Fromm (chimie). FriMat veut exceller en nanosciences et en nanotechnologies. Si les caractéristiques particulières des nanomatériaux trouvent en effet de nombreuses applications, leur matérialisation ne fera que croître : ordinateurs miniaturisés, techniques médicales, percées écologiques. Et FriMat s'intéresse également aux possibles effets néfastes des nanomatériaux sur la santé et l'environnement, des standards de sécurité devant être fixés. Renforcé par la création de l'AMI, FriMat poursuit finalement quatre objectifs principaux : l'excellence en nanosciences et nanotechnologies, la mise en place d'une structure ouverte aux groupes de recherche fribourgeois et d'ailleurs, l'intensification des relations nationales et internationales scientifiques et industrielles et création d'un Master de renom dans le domaine concerné.

FriMat versteht sich als Exzellenzzentrum für Nano- und Materialwissenschaften an der naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. Im Mittelpunkt der Aktivitäten von FriMat steht die Erforschung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von nanoskaligen Objekten aus weicher und harter kondensierter Materie. Ein Nanometer entspricht einem Millionstel eines Millimeters oder einem Achtzigtausendstel der Dicke eines menschlichen Haares. Auf der Nanometerskala erkennt man die einzelnen Atome oder Ionen, aus denen sich die kondensierte Materie zusammensetzt. Nanomaterialien bestehen folglich aus einer sehr begrenzten Anzahl von Atomen oder Ionen. Neben Nanopartikeln, welche auch in Lösungen oder in verschiedenen Arten von festen Matrizen eingebettet sein können, zählen zu den Nanomaterialien auch dünne Schichten, Grenzflächen zwischen verschiedenen Materialien sowie Oberflächen.

Das Ziel der Nanowissenschaft ist es, die auf der Nanometerskala vorherrschenden physikalischen und chemischen Gesetzmässigkeiten zu verstehen. Sehr oft haben Nanomaterialien völlig andere Eigenschaften als man es aufgrund der bekannten, klassischen Gesetzmässigkeiten der makroskopischen oder sogar der mikroskopischen Welt erwarten würde. Es kommen hier Quantenphänomene sowie Grenzflächen- und Oberflächeneffekte zur Geltung, die in grösseren Objekten keine wesentliche Rolle spielen.

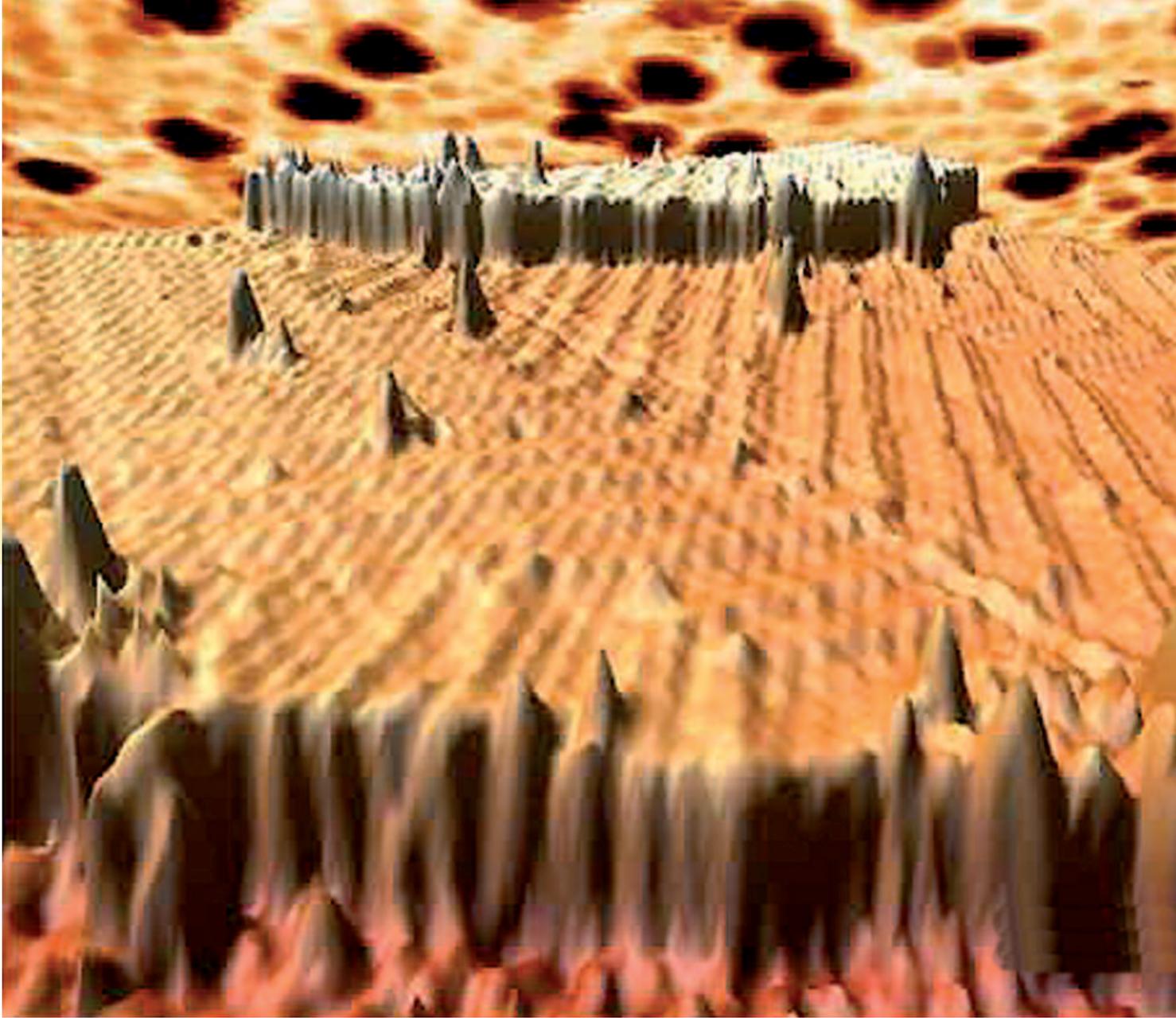
Während die Nanowissenschaft sich vornehmlich am Wissensgewinn orientiert, zielt die Nanotechnologie darauf ab, dieses Wissen anzuwenden, um Nanomaterialien gezielt herzustellen, zu manipulieren und für konkrete Anwendungen nutzbar zu machen. Es gibt schon zahlreiche Beispiele, dass Nanomaterialien leichter und stabiler sein können,

Wärme oder elektrischen Strom auf ungewöhnliche Weise transportieren oder in Abhängigkeit von der Grösse ihre Farbe ändern können. Diese besonderen Attribute werden heute in vielfältiger Weise verwendet, z.B. in der Informationstechnologie in Computerchips, CDs oder Mobiltelefonen, aber auch in scheinbar einfachen Anwendungen wie in Sonnencreme, wo nanoskalige TiO₂ Partikel das harte UV-Licht der Sonne besonders effizient reflektieren.

Es ist sicherlich nicht möglich den genauen Zeitverlauf vorherzusagen, mit dem sich die Nanotechnologie weiter entwickeln und unser aller Leben (hoffentlich positiv) beeinflussen wird. Es ist aber durchaus absehbar, dass sie in vielen Bereichen Einzug halten wird. Sie wird sicherlich entscheidend zur Herstellung kleinerer und schnellerer Computer sowie schärferer und effizienterer Bildschirme beitragen. Denkbar sind auch Anwendungen im Energiesektor wie z.B. in effizienteren Membranen von Brennstoffzellen oder in photovoltaischen Elementen. Weitere Beispiele aus der Alltagstechnik sind Schmutz abweisende oder besonders kratz feste Beschichtungen. Auch in der Medizintechnik könnten Nanopartikel helfen, Medikamente möglichst wirksam an bestimmte Stellen im Körper (Organe) zu transportieren oder zur Herstellung besonders leichter und trotzdem sehr stabiler und langlebiger Implantate beitragen. Nanomaterialien können auch beim Lösen von Umweltproblemen einen Beitrag leisten, indem sie zum Beispiel die Effizienz von Abgasfilteranlagen erhöhen, eine kostengünstigere und effizientere Wasserfiltration ermöglichen oder schädliche Chemikalien im Boden oder im Grundwasser unschädlich machen.

Nicht unerwähnt bleiben dürfen natürlich auch die bislang noch weitgehend unbekannt

Christian Bernhard ist ordentlicher Professor am Departement für Physik.
christian.bernhard@unifr.ch



Risiken für die Umwelt und unsere Gesundheit, welche von einem umfangreichen Einsatz von Nanomaterialien ausgehen könnten. Ein Aspekt dieser Problematik ist bereits unter dem Begriff Feinstaubbelastung in aller Munde. Parallel zur Erforschung und Entwicklung der positiven Eigenschaften von Nanopartikeln bedarf es also auch grosser Anstrengungen, um diese potentiellen negativen Auswirkungen rechtzeitig zu erkennen und angemessene Sicherheitsstandards und Handlungsrichtlinien im Zusammenhang mit dem Einsatz von Nanomaterialien zu entwickeln.

Das Fribourg Center for Nanomaterials (FriMat) hat es sich zum Ziel gesetzt, die Aktivitäten im Bereich der Nanowissenschaft und der Nanotechnologie an der Naturwissenschaftlichen Fakultät in den nächsten Jahren und Jahrzehnten entscheidend voranzubringen. Ermöglicht wird dies nicht zuletzt dank einer weiteren umfangreichen finanziel-

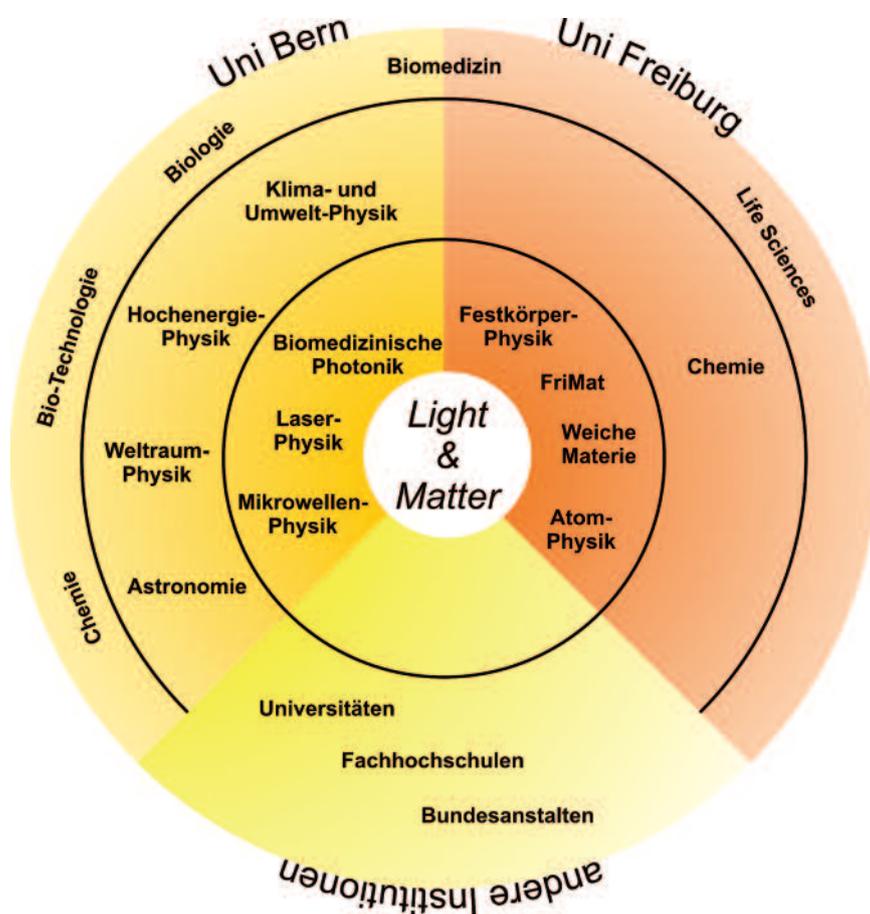
len Zuwendung von Adolphe Merkle, welche Ende 2007 im Rahmen der Gründung des Adolphe Merkle Institutes (AMI) verkündet wurde. Zukünftig wird FriMat die Forschungsaktivitäten der Gruppen aus dem AMI sowie beteiligter Gruppen aus den verschiedenen Departementen der naturwissenschaftlichen Fakultät koordinieren und gezielt fördern. Die Schwerpunkte sind: (i) exzellente Forschung im Bereich der Nanowissenschaften und der Nanotechnologie; (ii) Schaffung einer optimalen experimentellen Infrastruktur, die für alle interessierten Gruppen (auch von ausserhalb des FriMat) zugänglich ist; (iii) Intensivierung der Kontakte zu nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Industrie und (iv) Etablierung eines spezialisierten Masterstudienganges im Bereich der Nano- und Materialwissenschaft. ■

«Light & Matter» im 21. Jahrhundert

Die Entwicklung des ersten Festkörperlaser vor fast 50 Jahren ist ein Paradebeispiel für das Zusammenwirken von Grundlagenforschung in der Optik und den Materialwissenschaften. Fortschritte in der Halbleitertechnik haben die Herstellung leistungsfähiger Laser revolutioniert und Grundlagenforschung sowie alltägliche Anwendungen – wie Laser-Chirurgie in der Medizin oder Flachbildschirme in Handys – massgeblich beeinflusst.

von Frank Sheffold

dossier



Schematische Darstellung der geplanten Vernetzung der Physik in Freiburg und Bern (innerer Kreis), eingebettet in die Universitäts- und Forschungslandschaft beider Universitäten (mittlerer Kreis) und in der Schweiz (äusserer Kreis).

Die Schweizerische Universitätskonferenz unterstützt in den nächsten vier Jahren das gemeinsam an den Universitäten Freiburg und Bern angesiedelte Kompetenzzentrum «Light & Matter» mit Bundesmitteln von mehr als zwei Millionen Franken «Light & Matter» ist damit das bedeutendste Teil-

projekt einer mit insgesamt fünf Millionen Franken geförderten Initiative, welche die verstärkte Zusammenarbeit der verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereiche Freiburgs und Berns fördern soll. Diese Summe verteilt sich auf eine Machbarkeitsstudie und drei Pilotprojekte in den Geowissenschaften, der Informatik und der Physik. Den Anstoss zu dieser Zusammenarbeit gab ein Mandat der beiden Kantonsregierungen mit dem Ziel, Lehre und Forschung der beiden Universitäten enger zu verzahnen.

Das vorrangige Anliegen des Kompetenzzentrums «Light & Matter» ist es, die Forschung auf den Gebieten Optik, Photonik und Materialwissenschaften besser zu vernetzen und die Infrastrukturen zu optimieren. Alle drei Gebiete gelten als Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts und beeinflussen massgeblich die unterschiedlichsten Industriezweige, wie z.B. die Entwicklung neuer Materialien, die Telekommunikation, die Sensorik, die Medizin- und die Sicherheitstechnik. Das Zentrum «Light & Matter» soll dieser Entwicklung sowohl in der Ausbildung als auch in der Forschung Rechnung tragen. Bereits heute gibt es an den beiden Standorten ein breites Spektrum von komplementären Kompetenzen auf diesen Gebieten – mit internationaler Ausstrahlung und engen Kontakten zur regionalen und nationalen Industrie. Nicht zuletzt durch die kürzlich erfolgte Gründung des AMI gewinnen die Material- und Nanowissenschaften in Freiburg weiter an Substanz. Die engere Zusammenarbeit mit den Berner Kollegen wird diese Kompetenzen auf kohärente Art verstärken. In der Lehre erlaubt das Zentrum eine Erweiterung des Angebots und insbesondere eine hervorragende und wettbewerbsfähige Ausbildung in optischen Technologien und Materialwissenschaften. ■

Frank Sheffold ist assoziierter Professor am Departement für Physik. frank.sheffold@unifr.ch

Nanowissenschaften: inhärent interdisziplinär

In den Nanowissenschaften fliessen Methoden und Kenntnisse aus der Chemie, Physik und Biologie zusammen, um in gemeinsamer Forschung bisher ungeahnte Möglichkeiten zu entdecken und raschere Fortschritte zu erzielen.

von Titus Jenny

dossier

Collaborer pour avancer

L'interdisciplinarité est un facteur particulièrement important pour le succès de la recherche en nanosciences. Les domaines classiques que sont la chimie, la physique et la biologie se sont certes développés de façon autonome et pourraient continuer ainsi pendant longtemps. Mais un échange interdisciplinaire intensif promet non seulement des progrès plus rapides, mais surtout des possibilités jusqu'à présent inconnues. La nature vivante nous montre le nombre de fonctions qui peut être atteint par une disposition adéquate des molécules et des minuscules particules minérales de l'ordre du nanomètre. Les nanosciences n'ont pas comme but d'améliorer la nature, mais d'utiliser des processus de la nature vivante comme sources d'inspiration ou comme outils pour la création de structures complexes.

Interdisziplinarität ist bei den Nanowissenschaften nicht eine Mehrwert schaffende Option, sondern eine ursächliche und unabdingbare Bedingung für zukünftige Forschungserfolge. So kann die Chemie zwar unter Verwendung klassischer Methoden auch weiterhin immer grössere Moleküle herstellen, diese durch geschickte Ausnutzung bekannter zwischenmolekularer Kräfte auch selbsttätig zu supramolekularen Gebilden zusammenfügen lassen und damit in den Nanobereich weiter vorstossen. Auch die Physik hat das vor mehr als einem Vierteljahrhundert entdeckte Rastertunnelmikroskop systematisch weiter entwickelt und kann heute mit Hilfe von so genannten Kraftmikroskopen Materie in praktisch jeder Grössenordnung (und somit auch im Nano- und Subnanobereich) manipulieren. In der Biologie wächst das Verständnis der komplexen Funktionsweise von zellulären Organellen – diesem Musterbeispiel nanoskopischer Organisation von Molekülen – kontinuierlich weiter, dank einem beispiellosen Zusammenspiel einer grossen Zahl einzelner, unter dem Sammelbegriff «Life Sciences» zusammengefasster Fachgebiete.

Von der Natur lernen

Die Entwicklungen dieser drei klassischen Bereiche könnten selbst in den Nanodimensionen auch getrennt noch lange weitergetrieben werden. Eine interdisziplinäre wechselseitige Durchdringung der genannten Fachgebiete aber verspricht nicht nur wesentlich raschere Fortschritte, sondern auch bisher ungeahnte Möglichkeiten, denn die belebte Natur zeigt uns eindrücklich, welche Fülle von Funktionen sich durch geeignete Anordnung von Molekülen und winzigen mineralischen Bestandteilen im Nanometerbereich erzielen lässt. Das Erreichte ist umso erstaunlicher, als der Natur nur eine beschränkte Anzahl

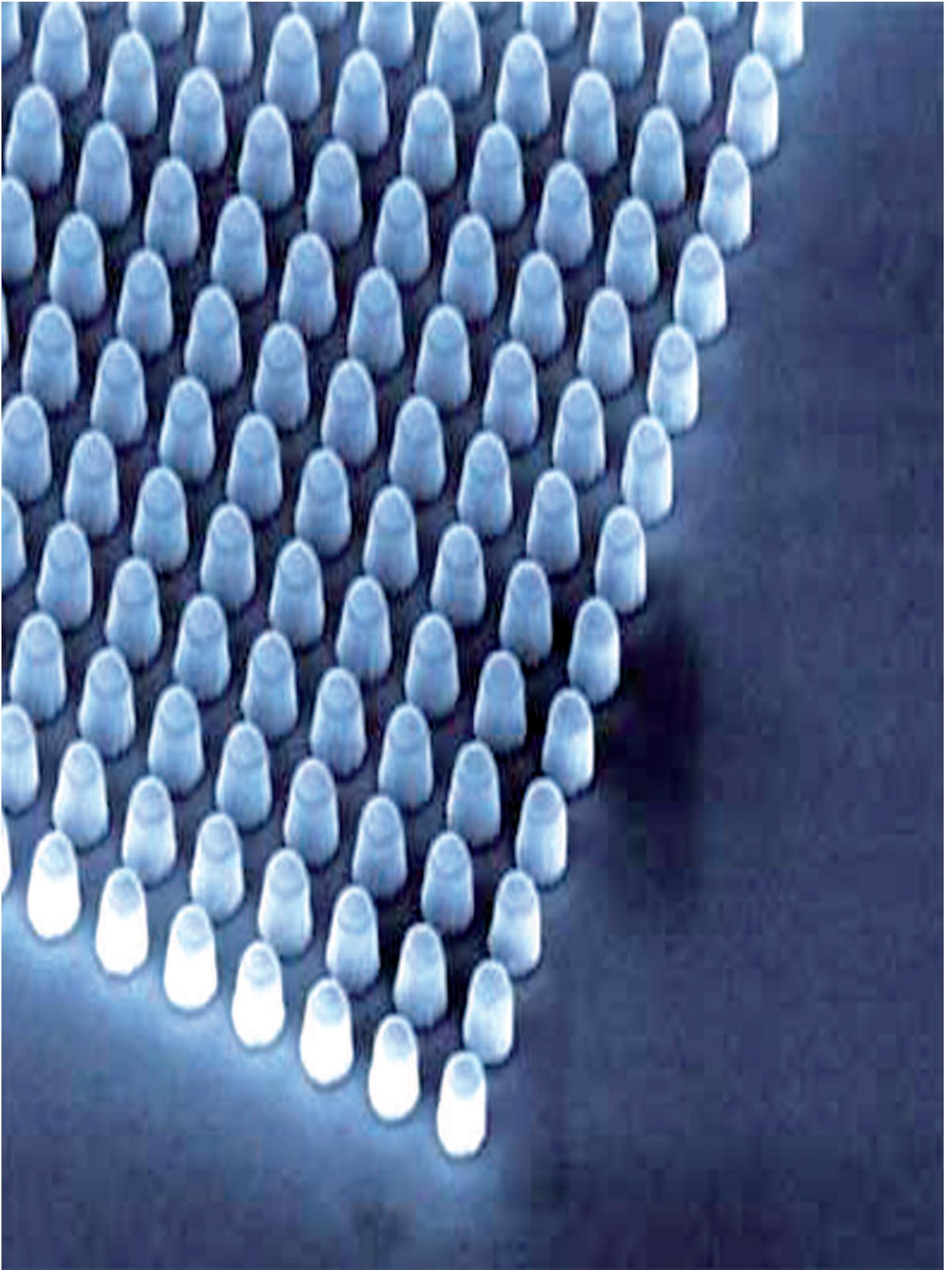
Bausteine zur Verfügung stehen, für deren Aufbau und Abbau samt Bauplan sie auch gleich noch die ganze dafür erforderliche «Maschinerie» mitentwickeln musste. Der belebten Welt stand für diese Entwicklungen allerdings sehr viel Zeit zur Verfügung.

Fehler sind selten

Die Nanowissenschaften setzen sich daher auch nicht zum Ziel, die Natur verbessern bzw. sie den Bedürfnissen des Menschen anpassen zu wollen, sondern verwenden geeignete Prozesse der belebten Natur als Inspiration oder als Hilfsmittel für den Aufbau komplexer Strukturen. Allgemein formuliert besteht das Ziel darin, die Bestandteile der Materie nanoskalig so anzuordnen, dass sich erwünschte Funktionalitäten ergeben, die sich anderweitig nicht erzielen liessen. Als Beispiel sei hier der so genannte Lotuseffekt genannt, der auf einer bestimmten Oberflächenbeschaffenheit beruht. Die Natur erreicht diesen Effekt durch das gezielte Zusammenspiel einer grossen Zahl von verschiedenen Proteinen und Zusatzstoffen. Einmal verstanden lässt sich der Effekt technisch verhältnismässig leicht imitieren und wird heute für die Herstellung Schmutz abweisender Textilien verwendet.

Aufgaben dieser Art sind deshalb in sinnvoller Weise nur interdisziplinär zu lösen, wobei die Liste von beteiligten Disziplinen rasch über die erstgenannten Fächer Biologie, Chemie und Physik hinausgeht, denn diese Forschung betrifft längst nicht nur Grundlagen, sondern ist in hohem Masse anwendungsorientiert und schliesst deshalb die ganze Breite der naturwissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Bereiche mit ein. ■

Titus Jenny ist Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät und assoziierter Professor am Departement für Chemie.
titus.jenny@unifr.ch



Enjeux économiques des nanotechnologies

A l'échelle nanoscopique, la matière présente de nouvelles propriétés qui faussent les lois de la physique classique. La modification des caractéristiques des atomes ouvre des perspectives technologiques inédites pouvant déboucher sur des applications industrielles et commerciales.

par Julie Michel

dossier

Leichter, kostengünstiger und widerstandsfähiger

Die Veränderung der Charakteristiken von Atomen öffnet zahlreiche Türen zu bisher verschlossenen Anwendungsmöglichkeiten von Materialien in der Industrie und im Handelsbereich: Keine Flecken mehr auf Kleidern, Kühlschränke mit antibakterieller Beschichtung oder Entsalzungsanlagen für Meerwasser; die Palette der Anwendungen ist breit. Laut dem Woodrow Wilson International Center befanden sich 2008 insgesamt 606 nanotechnologische Produkte auf dem Markt, die Mehrheit davon im Bereich Gesundheit und Fitness. Die Branche befindet sich in einem enormen Aufschwung; die Credit Suisse spricht von einem Wachstum in der Grössenordnung von 25 bis 30% pro Jahr bis 2010. Gleichzeitig ist das Bewusstsein der Konsumentinnen und Konsumenten noch kaum vorhanden, was Ängste vor möglichen Nebenwirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt mehr. Hier gilt es, Risiken offen darzulegen und die Forschung weiterzuführen.

Nouveaux matériaux plus résistants, plus légers et moins coûteux, tels que les nanotubes de carbone qui possèdent une force mécanique vingt fois supérieure à l'acier tout en étant six fois plus légers; sondes nanoscopiques surveillant en permanence notre état de santé; nouvelles méthodes universellement applicables pour le dessalement de l'eau de mer; parois intérieures des réfrigérateurs couvertes d'une couche protectrice de nanoparticules d'argent empêchant la prolifération des bactéries; pantalons qui résistent aux taches... Si nombre de découvertes dans le domaine nanotechnologique sont et resteront au stade expérimental, les exemples de concrétisation industrielle et commerciale témoignent d'une présence toujours plus marquée dans le quotidien des consommateurs.

Produits nanotechnologiques

Selon une base de données établie par le centre Woodrow Wilson International, 606 produits incorporent les nanotechnologies en 2008, dont 369 dans la catégorie santé et fitness, 69 dans la catégorie maison et jardin et 68 dans l'alimentation. Selon cette source, les entreprises suisses ont sorti 6 lignes de produits, dont une nouvelle ligne de bagages plus résistants aux saletés grâce à la nanotechnologie NanoSphere brevetée par Schoeller Technologies (Saint Gall). Même si la commercialisation de produits issus des nanotechnologies a été jusque-là assez réduite, les activités de recherche récentes laissent présager que le nombre de produits et la diversité des nanomatériaux et nanosystèmes devraient rapidement augmenter pendant la prochaine décennie, et influencer pratiquement tous les domaines de l'activité économique. Le Crédit Suisse estime une

croissance entre 25 à 30 pour cent par année jusqu'en 2010 de la taille du marché pour atteindre environ 220 milliards de dollars US. Selon Lux Research, entreprise de conseil sur les nouvelles technologies, des produits d'une valeur de 50 milliards de dollars incorporant des nanotechnologies ont été vendus dans le monde en 2006. Cependant, ces montants tiennent compte également des produits dont la nanotechnologie ne représente qu'une petite partie. Par exemple, au lieu de calculer les nanotubes de carbone utilisés dans les pare-chocs, la valeur de la voiture entière est prise en compte. En outre, de nombreux consommateurs ne sont pas encore conscients du contenu en nanoparticules des produits qu'ils achètent. Les entreprises vont ainsi certainement faire face à la crainte de la population quant aux effets secondaires possibles de ces produits sur la santé et l'environnement. Une transparence plus poussée sur les risques de ces nanoparticules devrait permettre d'éviter des attitudes trop négatives – comme celles suscitées par les organismes génétiquement modifiés – et être ainsi déterminante dans le succès de ces nouveaux produits.

Ressources mondiales

Les ressources mondiales allouées aux nanotechnologies sont impressionnantes et augmentent toujours. Selon une étude de la Commission européenne, les fonds publics mondiaux consacrés à la R&D dans les nanotechnologies en 2004 étaient de 3,85 milliards d'euros, dont 910 millions d'euros dépensés par les Etats-Unis, 750 millions par le Japon, suivis de 293 millions par l'Allemagne. La Suisse se situait en 16^e place avec 18,5 millions d'euros. Selon l'OCDE, les Etats-Unis ont également déposé la plus ►

Julie Michel est assistante doctorante au Département d'économie politique.
julie.michel@unifr.ch



Réfrigérateur anti-bactérien

grande part de brevets internationaux dans les nanotechnologies en 2004 (40,3%), suivis par l'Union européenne à 25 pays membres (26,4%), le Japon (19%) et l'Allemagne (10%). La Suisse était en 11^e position avec 1% de part des brevets internationaux dans les nanotechnologies – alors que sa part dans le dépôt de brevets internationaux tous domaines confondus était de 2,4%, ce qui la positionnait en 8^e place. Pour augmenter sa compétitivité dans ce domaine scientifique, la Suisse doit poursuivre son effort de recherche dans les nanotechnologies, dont elle était d'ailleurs l'une des pionnières dans les années 1980.

Recherche suisse

La recherche suisse a en effet joué un rôle moteur dans l'émergence des nanotechnologies avec, par exemple, l'invention en 1982 du microscope à effet tunnel qui rend visibles les atomes. Depuis, de nombreux programmes ont étudié les nanosciences, dont le Programme de technologie orientée TOP NANO 21, lancé par le Conseil des Ecoles polytechniques fédérales et la Commission pour la technologie et l'innovation. Plus récemment, des fonds ont été débloqués pour la recherche dans ce domaine, tels que les 100 millions de francs suisses donnés à Fribourg par Adolphe Merkle pour la création de l'AMI, et les 120 millions, répartis sur les quatre prochaines années, versés par divers fonds au programme Nano-Tera du FNS. Cette hausse des investissements publics dans les nanotechnologies devrait permettre à la Suisse de quitter sa 16^e place de 2004 et rejoindre les leaders mondiaux. Mais les organisations publiques ne sont pas seules à être actives dans les nanotechnologies. En 2004, les entreprises privées avaient en effet déboursé 178 millions de francs suisses en R&D dans les technologies nano, sur les 9659 millions de dépenses globales en R&D par les entreprises helvètes. Et ces sommes ont depuis encore augmenté, permettant aux entreprises suisses de développer ou d'améliorer leurs produits et de jouer un rôle croissant dans les grands défis énergétiques actuels et à venir. ■

Nanotechnologie und Ethik

Die Universität Freiburg setzt einen Schwerpunkt in der nanotechnologischen Grundlagenforschung. Sie reiht sich damit in eine vielversprechende und zukunftsweisende Spitzenforschung ein. Es gibt auch in diesem Bereich eine Reihe von Problemen, die nicht rein technischer Natur sind, wie der Autor im Folgenden zeigt.

dossier

von Adrian Holderegger

Anticiper les risques nano

L'Université de Fribourg veut mettre l'accent sur la recherche fondamentale en nanotechnologie. Par cette volonté, elle s'engage dans une recherche de pointe, porteuse d'avenir. Cette technologie est cependant liée à certains risques. Les propriétés des matériaux aux composants issus de la nanotechnologie sont pratiquement inconnues. C'est l'une des raisons pour laquelle l'évaluation des répercussions de ces matériaux sur l'homme et l'environnement n'est pas encore possible. Il est donc indispensable de lier la recherche de l'innovation à la celle des risques pour pouvoir anticiper suffisamment les possibles conséquences négatives. L'éthique des risques a élaboré des critères pour accompagner de telles recherches. L'Université de Fribourg pourrait appliquer et rendre vivant son héritage humaniste en associant les recherches en sciences humaines, en anthropologie et en éthique à la recherche en nanotechnologies.

Die Nanotechnologie gilt als Querschnittstechnologie, denn sie wird die Entwicklungen in Biologie und Medizin, sowie in den Informations- und Kommunikationstechnologien oder in den Material- und Ingenieurwissenschaften durch neuartige Materialien, qualitativ andere Anwendungen und neue Untersuchungsmethoden beeinflussen. Die Nanotechnologie ist ein sehr rasch wachsender Forschungs- und Entwicklungsbereich, der über kurz oder lang die meisten unserer Lebensbereiche tangieren wird. Man spricht in diesem Sinne auch von einer «Jahrhundertstechnologie». Wie jedes technische Handeln – und dies ist eine Binsenwahrheit – ist auch diese Technologie mit entsprechenden Risiken verbunden. Materialien mit strukturellen Bestandteilen im Nanobereich weisen gegenüber konventionellen Materialien häufig andere, neue Eigenschaften auf, die uns noch weitgehend unbekannt sind. Sie sind in der Regel nicht durch Analogieschlüsse aus den üblichen Materialien herleitbar. Dies ist mit einer der Gründe, warum über die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt vergleichsweise noch wenig bekannt ist.

Von daher drängt sich der ethische Imperativ auf, die Innovationsforschung mit der Risikoforschung auf dem gleichen Niveau zu koppeln. Mögliche negative Auswirkungen auf Gesundheit, Umwelt und Gesellschaft müssen frühzeitig, methodisch gesichert und verlässlich erkannt und extrapoliert werden. Die noch wenigen Studien zeigen beispielsweise, dass ungebundene Nanopartikel über die Atemwege in die Blutlaufbahn eindringen und sich im Körper verteilen können. Die dort verursachten Effekte sind noch nicht abschliessend beurteilbar. Auch ist bekannt, dass synthetische Nanopartikel in den Zellen eine schädigende Wirkung hervorrufen können. Will man unan-

nehmbare Folgekosten vermeiden und nicht sozusagen in die Asbestfalle treten, ist eine seriöse Risikoabschätzung unabdingbar. Die Risikoethik hat hier ein differenziertes Set an Kriterien erarbeitet, um solche Forschungen begleiten zu können. Im Allgemeinen haben die politischen Gremien (z. B. das Bundesamt für Gesundheit BAG) erkannt, dass hierfür die nötigen wissenschaftlichen und methodischen Voraussetzungen geschaffen werden müssen. Allerdings sollte dies als ein technikimmanenter, komplementärer Auftrag erkannt werden, der aus der Verantwortung und der Selbstverpflichtung der Akteure erwächst und nicht korrigierend von aussen herangetragen wird. Es liegt in der Natur der Sache, dass die freie universitäre und von der Gesellschaft beauftragte Nanoforschung einen grösseren Spielraum hat als die unmittelbar dem Markt verpflichtete Anwendungsforschung.

Es wäre jedoch ein verengter Blick, wollte man die ethische Fragestellung «was sollen wir im Hinblick auf das Wohlergehen des Menschen können wollen?», alleine auf den Risikoaspekt der nanoskaligen Materialien fokussieren. Einerseits ist die Ethik mit einem sehr heterogenen Technikfeld konfrontiert, das Fragen der Schädlichkeit bis hin zu nanobasierten Überwachungsmethoden umfasst. Andererseits sind beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung die tatsächlichen und drängenden Probleme kaum von den prognostizierbaren, ja visionären Problemen zu unterscheiden. Deshalb kommt der Ethik hier eine sehr spezifische Funktion zu. Sie wird zum «konstruktiven Impulsgeber» (N. Jungmichel) für Forschungs- und Entwicklungsrichtungen und Prioritäten. In ähnlicher Weise hat die neuere Bioethik ihre bis anhin fast ausschliesslich «beratende Funktion» – z. B. in Ethikkommissionen und politischen Gremien – ausgeweitet in eine Funktion, ►

Adrian Holderegger ist ordentlicher Professor am Departement für Moralthologie und Ethik.
adrian.holderegger@unifr.ch



in der sie bei der Konstruktion sozialer Wertemuster eine Hauptrolle spielt. Denn die Geisteswissenschaften können hier auf einen breiten Wissens- und Erfahrungsschatz zurückgreifen. Die Diskussion in der Stammzellforschung etwa, in der es um viel mehr als nur um Verbotenes und Erlaubtes geht, ist ein Beleg dafür. Die naturwissenschaftliche Forschung hat in der Folge normative, soziale und gesellschaftliche Faktoren strukturell in ihre Innovationsprozesse miteinbezogen. Dies gab Anstoss zu medizintechnischen Entwicklungen und Lösungen, die ohne diese Impulse nicht denkbar wären. Gerade im Anschluss an diese jüngste Wissenschaftsentwicklung wäre es wünschbar, dass in der in vielen Bereichen ungewissen Nanotechnologie-Entwicklung von Anfang an die so genannt weichen Faktoren miteinbezogen würden. Die Ethik verlöre damit ihr Image, bloss Technikkritik bereits geschaffener Fakten zu sein, sondern erhielte im Gegenteil eine konstruktive Aufgabe in der Einbindung dieser neuen Technologie in die Lebenswelt der Menschen.

Dies lässt sich an einem vergleichsweise kleinen, aber wichtigen Aspekt verdeutlichen: Nanotechnologische Entwicklungen werfen unter anderem Fragen im Bereich «Mensch-Maschine-Schnittstellen» in zugespitzter Form auf. Sie betreffen einerseits das Selbstbild des Menschen, andererseits das Verhältnis des technisch Fabrizierten zur vorgegebenen Natur bzw. zum vorgegebenen Lebendigen. Realistische Visionen gehen davon aus, dass es vermutlich zu einer folgenreichen Auflösung der Grenzen zwischen beiden kommen wird. Es lässt sich eine Forschungstendenz ausmachen, welche auf eine Verbesserung und Substituierung menschlicher Funktionen durch nanobasierte Artefakte hinarbeitet. Die markante Stimulierung menschlicher Intelligenz ist nur eine der visionären Sichten. Diese möglichen Entwicklungen kehren die anthropologische Frage um: Nicht die «Vermenschlichung» des technisch Hergestellten ist die anthropologische und ethische Herausforderung, sondern die Technisierung des Leibes. R. Smith bringt es auf den Punkt: «How much nano-prothesis will make one non-human?».

Antizipiert man diese Entwicklung, wenngleich auch hypothetisch, dann ist zu fragen, ob die Identität des Menschen noch einen Grund in seiner Leiblichkeit haben kann. Die zuneh-

mende Technisierung des Menschen, die in den möglichen biowissenschaftlichen Anwendungen greifbar zu werden scheint, führt zur Überlegung, inwiefern die Kategorien, welche den Menschen als Gegenüber der Technosphäre beschreiben, noch ausreichen. Die Anthropologie, die diese Herausforderung annimmt, steht vor der Aufgabe, das Menschsein nicht mehr so sehr in Abgrenzung zur Tierheit und Gottheit zu beschreiben, sondern in Abgrenzung zur «Maschine». Damit stellt sich die ethisch höchst relevante Frage, ob und in welchem Umfang die Gattungsgrenze überschritten werden soll im Hinblick auf ein Mischwesen «Mensch-Maschine» («Citizen Cyborg»). Die Lebenswissenschaften, die eine Verbindung mit der Nanowissenschaft eingehen, stehen hier vor einer Reihe offener Fragen, die unser Selbstbild von Autonomie, Verantwortung und Humanität zentral berühren. Sollten «intelligente» Nano-Implantate (z. B. Biochips) unsere Emotionalität, unsere Handlungsentscheidung dereinst steuern können, dann steht in der Tat unser «Humanismus» auf dem Prüfstand.

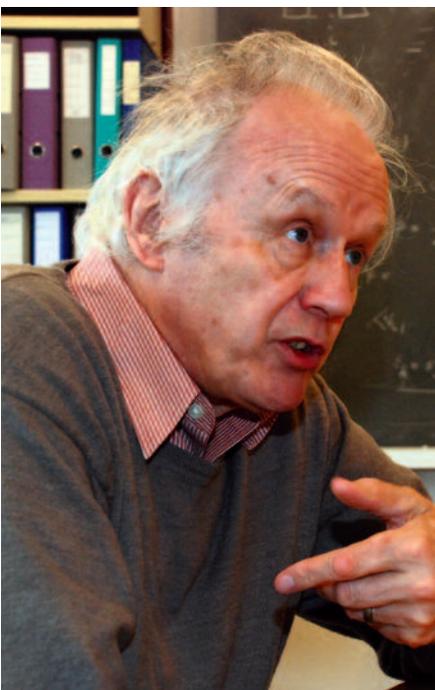
Die Universität Freiburg schickt sich an, einen Schwerpunkt in der nanotechnologischen Grundlagenforschung zu setzen. Sie reiht sich damit in eine Spitzenforschung ein, die sich viele Universitäten auf die Fahne geschrieben haben. Ich bin der Meinung, dass die Universität Freiburg in exzellenter Weise ihr «humanistisches Erbe» umsetzen und verlebendigen würde, wenn sie die geisteswissenschaftliche, anthropologische und ethische Forschung komplementär miteinbezöge. ■

Un Prix Nobel à Fribourg

Expert reconnu de la théorie de la matière condensée et de la mécanique quantique, le Prof. Sir Anthony James Leggett a reçu en 2003 le Prix Nobel de physique. S'il n'est pas à proprement parler un spécialiste des nanosciences, ses travaux sont étroitement liés à ce sujet. Tony Leggett était de passage à l'Université de Fribourg le 9 avril dernier.

dossier

interview de Laure Schönenberger



Universitas : *Quelle est votre définition des nanosciences et comment les percevez-vous ?*

Tony Leggett : Les nanosciences abordent le comportement de la matière à travers une échelle à la fois trop grande pour penser en termes d'atomes isolés, et trop petite pour le décrire macroscopiquement. C'est un domaine situé aux limites de l'échelle atomique – à l'intérieur de laquelle nous concevons un comportement quantique de la matière – et de la vie courante, où elle est posée comme relevant de procédés classiques. Il est en fait difficile de porter un jugement d'ensemble, car il faudrait distinguer chaque domaine spécifique des nanosciences. Je pense finalement qu'il existe de nombreux espaces de recherche extrêmement prometteurs et fascinants, telles les tentatives consistant à combiner physique et biologie en recourant aux systèmes physiques pour transporter des molécules biologiques et les conduire à un endroit déterminé.

Les nanosciences incarnent-elles la nouvelle voie sacrée de la science ?

S'il ne faut pas l'exclure, il me semble assez peu probable que ce domaine de recherche conduise à la découverte de nouvelles lois physiques fondamentales, car le comportement de la matière au niveau nano est gouverné – tout au moins en principe – par la mécanique quantique. De nombreux chercheurs n'en formulent pas moins des hypothèses selon lesquelles ce comportement aurait des caractéristiques classiques s'il était examiné à la lumière des règles du quotidien. L'observation attestée d'une mécanique quantique ne «fonctionnant» plus quand est atteint ce niveau ne relève donc pas de l'impossible. Mais je reste

convaincu de la faible probabilité d'un tel bouleversement dans nos connaissances.

L'attribution du Prix Nobel à un chercheur travaillant dans le domaine des nanosciences est-elle un signe manifeste d'encouragement pour le développement de cette matière ?

Ma recherche n'est pas spécifiquement étiquetée nanosciences, quoique cela reste une pure question de sémantique. Je travaille avec des ensembles d'atomes qui se comportent, qualitativement parlant, assez différemment d'atomes semblables, mais pris individuellement. C'est fascinant... et sûrement prometteur.

Comment expliquer cet engouement pour les nanotechnologies ? Existe-il un risque que les chercheurs concentrent leurs travaux sur un unique domaine, parce qu'il est à la mode ?

L'intérêt que vous évoquez n'est pas nouveau, et depuis de nombreuses années, des idées et théories nouvelles sont étudiées. Les principaux développements viennent du domaine expérimental. La possibilité de travailler la matière de façon plus précise et contrôlée à l'échelle nano n'existait pas auparavant, et cela pourrait déboucher sur de nouvelles théories qui apporteront un nouvel éclairage sur les procédés de ces systèmes variables, et sur la manière de les contrôler. Mais je ne crois pas en la perte d'attractivité des autres secteurs de la science... pour autant que le monde politique maintienne son soutien ! Et prenez un groupe lambda de nouveaux étudiants en physique : la répartition se fera naturellement en groupes aux intérêts scientifiques variés, des nanosciences à la cosmologie, autre domaine passionnant. ▶

Nobelpreisträger an der Universität

Sir Anthony James Leggett gilt als anerkannte Autorität in der Theorie der Tieftemperaturphysik und wurde 2003 für die Arbeit auf dem Gebiet der Suprafluidität mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Auch wenn der britisch-amerikanische Doppelbürger sich nicht als Spezialist der Nanowissenschaften sieht, ist seine Forschung doch eng damit verbunden. Der Philosoph und Physiker verteidigt die Forschung und Entwicklung im Bereich der Nanowissenschaften, solange deren Nutzen nicht missbraucht wird. Der Nobelpreisträger sieht darin ein enormes und viel versprechendes Forschungspotential, wie beispielsweise in der Kombination von Physik und Biologie. Der Universität Freiburg als internationales Zentrum für Nanotechnologien räumt der 68-jährige durchaus Chancen ein.

Quelles sont les limites matérielles ou scientifiques au développement des nanotechnologies ?

Que ce soit au niveau nano, atomique ou microscopique, les limites sont inévitables. Prenez l'exemple de la conservation de l'énergie, ou celui de l'impossibilité – du moins en l'état actuel de nos connaissances – de transmettre de l'information à une vitesse supérieure à celle de la lumière, ce qui réduit forcément la vitesse à laquelle un élément d'une certaine dimension pourra être opérationnel. Par ailleurs, nous ne comprenons pas aussi bien que souhaité un certain nombre d'éléments et de systèmes.

Aux yeux du philosophe que vous êtes également, les chercheurs devraient-ils se fixer des limites dans leur désir de copier la nature, de la manipuler ou de reconstruire l'infiniment petit ?

A ce sujet, j'opère une distinction claire entre les recherches menant à des résultats matériels gênants ou indésirables – tels les travaux portant sur des molécules hautement toxiques et dont la probabilité d'une finalité militaire est forte – et les recherches menant à des résultats intellectuels... qui peuvent être tout aussi gênants ou indésirables. Prenez la théorie héliocentrique de Copernic qui déplut à tant de ses contemporains. Copernic ne devait assurément pas interrompre ses recherches parce qu'il craignait de se fâcher avec tout le monde ! Aujourd'hui, certains secteurs de la recherche génétique dérangent, sous prétexte qu'ils ne correspondent pas à des dogmes de notre société. Est-ce une raison pour ne plus avancer ? Evidemment non, sauf si cette progression scientifique conduit à l'élaboration d'armes encore plus destructrices.

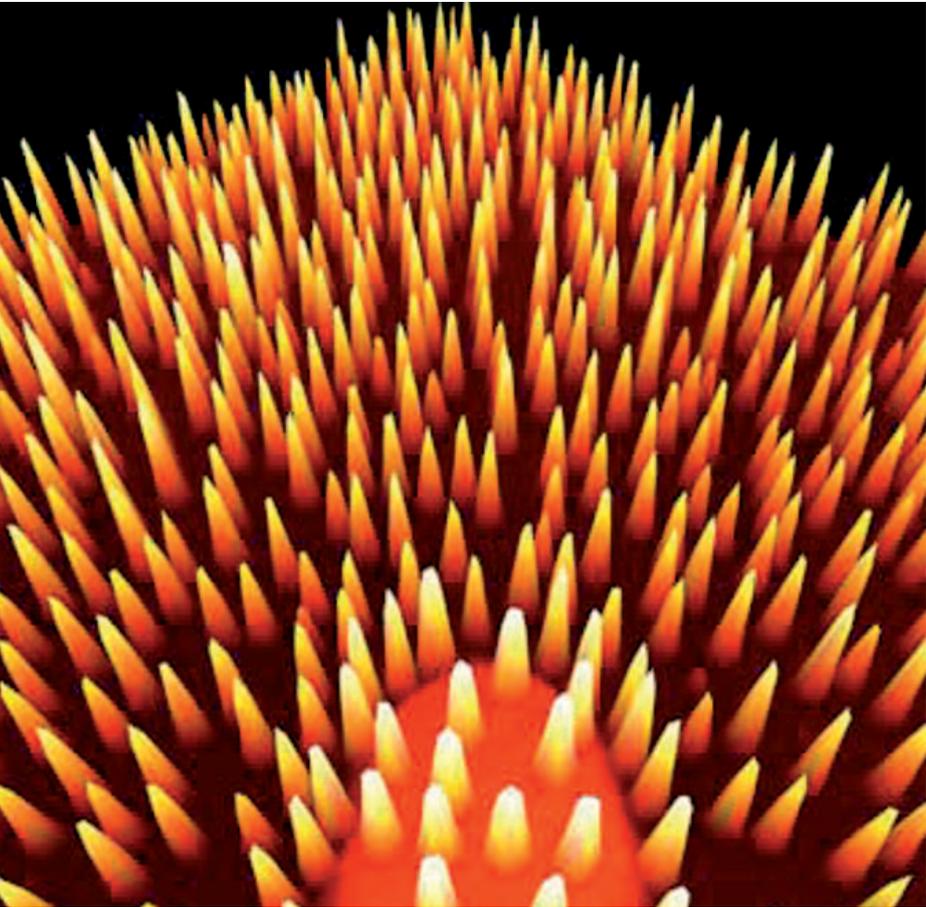
Vous avez délaissé la philosophie, car, selon vous, rien n'y était juste ou faux, et seule comptait la façon de présenter les choses. L'analogie est-elle possible avec l'infiniment petit, où une même particule d'or, composant les vitraux d'église, peut donner du bleu ou du rouge selon l'orientation de la lumière ? La vérité existe-t-elle ?

Votre exemple illustre parfaitement le fait que l'on ne peut comprendre les propriétés d'assemblages complexes d'atomes par la

seule étude de ces atomes pris séparément. Leur comportement optique découle non seulement de leur structure globale, mais également de leur organisation et de leurs interactions. Un scepticisme de base est donc nécessaire pour le scientifique, sans que son objectivité scientifique soit remise en question pour autant. Alors la philosophie ? Mon intérêt pour cette matière est toujours vivace, et je trouve particulièrement intéressant de constater qu'au cours des 50 dernières années se sont constitués des groupes de philosophes possédant de solides connaissances en physique. Ils sont ainsi en mesure de débattre à armes égales sur des questions de physique fondamentale avec des scientifiques travaillant dans ce domaine. C'est une évolution radicale : à Oxford, il y a 50 ans, les philosophes ne voulaient rien entendre sur les sciences, et encore moins sur les « petits » problèmes fondamentaux de la physique ou de la biologie. Parallèlement à cet esprit d'ouverture, les physiciens devraient plus souvent adopter l'attitude du philosophe en remettant en question leurs connaissances, plutôt que de tenir pour acquises certaines théories qui semblent fonctionner depuis longtemps et doivent donc être vraies.

L'Université de Fribourg peut-elle aspirer à devenir un centre international des nanotechnologies, grâce notamment à l'importante donation d'Adolphe Merkle ?

Bien sûr ! S'il existe déjà une demi-douzaine de tels centres, Fribourg dispose de tous les outils pour les rejoindre. On pourrait comparer la situation de votre Université avec celle, dans le domaine de la physique, de l'Université de Waterloo, au Canada, qui s'est hissée au premier plan de l'informatique quantique, grâce à la création du Perimeter Institute et du Quantum Computing Institute. Et Waterloo n'est pas plus grande que Fribourg ■



Nanotechnologie médiévale

Les études archéométriques révèlent parfois l'application de technologies étonnamment élaborées sur les objets anciens. Dans le domaine de la céramique, un des apports majeurs de l'islam médiéval est l'invention du décor de lustre métallique. Une technique originale qui permet d'obtenir des reflets d'or sur des céramiques glaçurées... sans utiliser le moindre gramme d'or.

par Raphaëlle Soullignac

dossier

Mittelalterliche Nanotechnologie

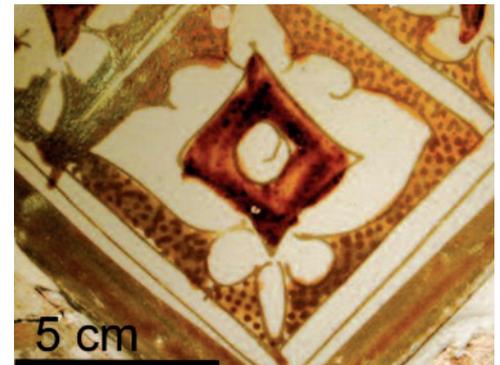
Goldschimmernde Tongefässe, die je nach Licht und Betrachtungswinkel die Farbe ändern, gehen auf die islamische Kunst des Mittelalters zurück. Diese Technik der Keramikverzierung erfordert mehrere sorgfältige Arbeitsschritte: In einem ersten Schritt werden die Tongefässe gebrannt, anschliessend mit einer Schutzglasur bestrichen und zum zweiten Mal bei 1'000°C gebrannt und so versiegelt. In einem letzten Schritt zeichnet der Töpfer unter Verwendung einer Mischung aus Kupfer und Silber unterschiedliche Muster auf die Gefässe, um die Keramiktöpfe anschliessend noch einmal in den heissen Ofen zu stellen. Einmal fertig, schimmern die aufgezeichneten Muster in den unterschiedlichsten Farbtönen. Wie Forschungen der Universität Bordeaux zeigen, handelt es sich um einen nanotechnologischen Vorgang: Durch die Hitze des Brennofens werden Kupfer und Silber auf der Schutzglasur verteilt und aggregieren in nanometrische Kolloide. Dies bewirkt das farbige Schillern der Oberfläche. Diese Technik ist heute fast vergessen, einzig in der spanischen Region Valencia werden noch Gefässe dieses Stils hergestellt.

Le potier cuit une première fois de la terre afin d'obtenir une céramique sur laquelle il appose un mélange glaçant – mixtion faite de verre pilé et d'eau – qui, après une seconde cuisson à 1000°C, va protéger et imperméabiliser la céramique. L'artisan applique ensuite à l'aide d'un calame, roseau taillé en pointe, un mélange à base de cuivre et d'argent sur la céramique glaçurée, laquelle est enfin placée dans un four à bois chauffé entre 500°C et 650°C. Le «lustre» ainsi obtenu relève de la nanotechnologie puisque la dernière cuisson provoque la diffusion du cuivre et de l'argent de la peinture vers la glaçure, puis leur agrégation en colloïdes nanométriques à l'état métallique. C'est la présence de ces nanoparticules qui confère des propriétés optiques singulières aux céramiques. Ce décor présente en effet un double aspect : lorsque l'angle d'observation égale l'angle d'incidence, un reflet métallique apparaît, intense et coloré, et peut revêtir toutes les couleurs du spectre du visible. Si le degré de l'angle d'observation change, la couleur de la lumière réfléchie, dont l'intensité sera beaucoup plus faible, change également (brun, vert, etc.).

Technique oubliée ?

Des recherches, menées en particulier par le Centre de recherche en physique appliquée à l'archéologie (CRPAA) de l'Université Bordeaux 3, ont permis de dénommer cette interaction entre la lumière et les nanoparticules de métal «résonance plasmon de surface». Elle dépend de nombreux facteurs qui font varier la couleur du reflet métallique : la nature des particules (Cu ou Ag), leur dimension, leur forme, leur concentration au sein de la matrice et la constante diélectrique de la matrice. Ces céramiques particulières ont été produites pour la première fois dans la région de Bagdad au IX^e siècle de notre ère, puis au fil du temps

dans l'ensemble du monde musulman, en Irak, Egypte, Iran, Syrie et jusqu'en Espagne. Les céramistes modernes ne semblent pas posséder le savoir pour reproduire de façon rigoureuse un tel décor de lustre métallique, à la seule exception des Espagnols de Manises et Paterna qui réalisent de tels décors qu'ils appellent «dorado». ■



Suse, Mésopotamie, IX^e siècle. Observation au microscope électronique à transmission : nanoparticules quasi sphériques d'argent et de cuivre, de 5 à 20 nm de diamètre; elles sont enfouies dans la glaçure, parallèlement à la surface à 100-150 nm, et certaines sont situées beaucoup plus profondément (Chabanne, 2005).



Kairouan, Tunisie, IX^e siècle. A gauche : carreau à décor vert, brun et ocre jaune en lumière diffuse. A droite : reflet métallique jaune doré, bleu et vert (Bobin, 2001).

Raphaëlle Soullignac est assistante diplômée au Département de géosciences.
raphaelle.soullignac@unifr.ch

Silber und seine Ionen als antimikrobielle Wirkstoffe

Silber und seine Verbindungen haben eine antibakterielle Wirkung. Durch die Entwicklung von antibakteriellen Beschichtungen für Implantatoberflächen soll unter anderem das Problem der Infektion von Prothesen gelöst werden.

von Katharina Fromm

dossier

Argent vs bactéries

Jusqu'au début du 20^e siècle, avant la découverte de l'antibiotique, l'argent a souvent été utilisé en médecine. La résistance de plus en plus grande des bactéries conduit aujourd'hui à s'intéresser à nouveau aux effets antibactériens de l'argent. Le groupe de travail de la Prof. Katharina Fromm veut développer un tel agent antibactérien pour les zones d'implants, car l'infection prothétique reste l'une des plus graves complications de la chirurgie. Les micro-organismes colonisant les prothèses peuvent provenir d'une contamination exogène durant l'implantation ou d'une contamination endogène au cours de phénomènes physiologiques naturels. L'argent sous forme ionique est un antibiotique puissant, dont le chimiste peut réguler la stabilité, la solubilité et la structure pour une utilisation efficace comme dépôt antimicrobien lors d'implants.

Dass Silber in seiner ionischen Form als Ag^+ gegen Bakterien wirksam ist, wurde schon in der Antike genutzt, auch wenn man damals die chemische Bedeutung noch nicht erkannte. Bereits 1000 v. Ch. bewahrten die Griechen das Trinkwasser in Silbergefäßen, und die «Wünschelbrunnen» wiesen durch Werfen von Silbermünzen meist die beste Wasserqualität auf. Bis Anfang des 20. Jahrhunderts setzte man Silber und seine Verbindungen gezielt in der Medizin ein – man denke z. B. an Schädeldplatten aus Silber oder die Silbernitrat-Lösung, die dem Neugeborenen zur Vermeidung von übertragbaren Infektionen (*Ophthalmia neonatorum*) ins Auge getropft wird. Nach der Entdeckung von Antibiotika und deren Einsatz in der Medizin verlor sich zunächst das Interesse an diesem Element und seinen Verbindungen. Die zunehmende Resistenz von Bakterien führte in neuerer Zeit zur Entwicklung von Werkstoffen oder Beschichtungsverfahren, die sich die antibakterielle Wirkung von Silber zunutze machen. Beispielsweise werden Silber-Nanoteilchen in Werkstoffe eingebettet, welche dann kontinuierlich Silberionen abgeben und das Wachstum und die Anhaftung von Bakterien verhindern (Funktionssportkleidung, Wundkompressen und Pflaster, sanitäre Anlagen und Oberflächen im Küchenbereich).

Silber gegen Bakterien

Im menschlichen Körper ist dieses Konzept jedoch nur limitiert anwendbar. Eine Mindestkonzentration an Silberionen ist einerseits notwendig, um bakterizid zu wirken; bei zu hohen Ag^+ -Konzentrationen kann es andererseits neben der Argyrie (irreversible graue Verfärbung der Haut) auch zu Geschmacksstörungen, Geruchsunempfindlichkeit sowie zerebralen Krampfanfällen kommen. Will man also Silber bzw. seine Verbindungen

im lebenden Organismus einsetzen, muss die Löslichkeit genau eingestellt werden. Eine weitere Herausforderung für den Chemiker ist es, lichtstabile Silberverbindungen herzustellen. Es gilt die Silberionen chemisch so «einzupacken», dass beide Bedingungen erfüllt sind.

In der Arbeitsgruppe Fromm interessieren wir uns für die Entwicklung von antibakteriellen Beschichtungen für Implantatoberflächen, z.B. für künstliche Hüft- und Kniegelenke, Herzschrittmacher oder Zahnimplantate. Für diese spezielle Anwendung kommt eine weitere Herausforderung hinzu, denn diese Fremdkörper sollen nicht nur die Ansiedlung von Bakterien verhindern, sondern auch in die biologische Matrix (z. B. Knochen) einwachsen. Zu diesem Zweck muss die Oberfläche von Implantatmaterialien so beschichtet werden, dass sie antibakteriell wirkt und gleichzeitig eine Strukturierung in der Größenordnung von Nanometern aufweist.

Bakterien, z.B. *Staphylococcus aureus* (Abb. 1), sind Teil der menschlichen Mikroflora und bilden oft so genannte Biofilme. Gerade Implantatoberflächen eignen sich hervorragend als Ankerplätze für Bakterien, da diesen Materialien die natürlichen, körpereigenen Antibiotika fehlen, wie sie z. B. in Knochen enthalten sind. Ist erst einmal ein Biofilm auf einem Implantat gebildet, lässt er sich durch Einnahme von Antibiotika nicht mehr bekämpfen, und eine Entzündung des Implantats sowie sein operativer Ersatz sind vorprogrammiert.

Eine interdisziplinäre Forschung

Neu entwickelte Silber-Koordinationspolymere aus unserem Team sind lichtstabil und weisen die erforderliche geringe Löslichkeit auf, behalten dabei jedoch ihre antimikrobiellen Eigenschaften. In diesen Verbindungen liegt das Metall als Ag^+ -Ionen vor, die durch bio-

Katharina Fromm ist ordentliche Professorin am Departement für Chemie. katharina.fromm@unifr.ch

kompatible, organische Moleküle, den so genannten Liganden, stabilisiert werden. Metallionen, Liganden und Anionen können vom Chemiker so gewählt werden, dass sie zusammen neue Strukturen in Form von eindimensionalen Ketten, zweidimensionalen Schichten oder dreidimensionalen Gittern ausbilden. Ketten und Schichten sind optimal, wenn man eine Oberfläche beschichten möchte. Als Modelloberfläche benutzen wir atomar glatte Flächen von Gold, die man aufgrund ihrer Homogenität sehr gut mit hochauflösenden Elektronenmikroskopen (Zusammenarbeit mit Bernard Grobety und Christoph Neururer, UniFr, FriMat) analysieren kann. Dabei wurde beobachtet, dass die mit den Silberverbindungen beschichteten Oberflächen eine Strukturierung im Nanobereich aufweisen (Abb. 2). Dies ist Grundvoraussetzung für ein gutes Einwachsen des Implantats im Körper. Analog zu den Goldoberflächen wurden Titan und Stahl beschichtet, da diese Materialien sehr häufig in der Orthopädie verwendet werden. Sowohl die Beschichtung von Titan- und Stahlimplantaten, als auch von Goldzahn-Legierung mit unseren Verbindungen erwies sich als erfolgreich im Kampf gegen *S. aureus*, *S. epidermidis* bzw. *S. sanguinis*, was in einer Kollaboration mit dem Universitätsspital Basel erarbeitet werden konnte. Auch das Wachstum von Hefen lässt sich stark inhibieren, wie erste Tests in Zusammenarbeit mit der Gruppe von Claudio de Virgilio zeigten. Mit der Hilfe von Marco Celio (unifr) und seinem Team untersuchen wir, wie sich menschliche Zellen gegenüber unserer beschichteten Materialien verhalten. ■

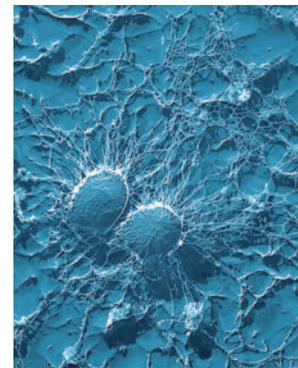


Abbildung 1: *Staphylococcus aureus* (50'000fache Vergrößerung, TEM) kommt fast überall in der Natur, so auch bei vielen Menschen auf der Haut und in den oberen Atemwegen vor (Kolonisationskeim). Bei günstigen Bedingungen oder einem schwachen Immunsystem kommt es durch Vermehrung von *S. aureus* beim Menschen zu teilweise lebensbedrohlichen Erkrankungen wie Lungenentzündung, Endokarditis oder Sepsis.

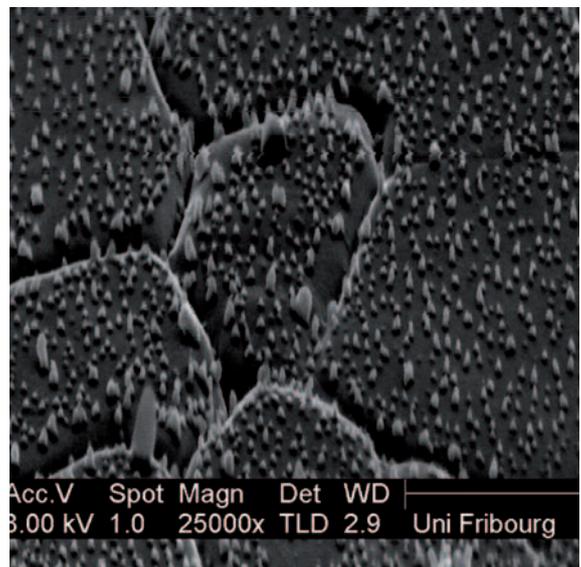
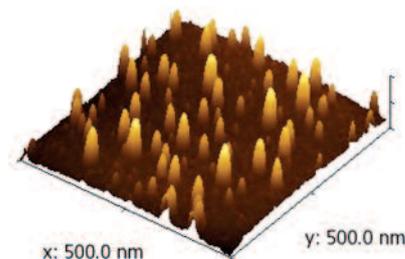
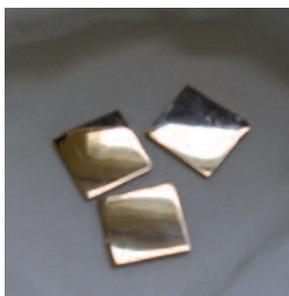


Abbildung 2: Beschichtete Goldplättchen (links) wurden mit AFM (Mitte) und SEM (rechts) untersucht.

Freie Elektronen im Dienste der Nanotechnologie

«Focussed Electron Beam Induced Processing» (FEBIP) ist eine moderne Methode, um Sensoren, elektrische Leitungen und andere Strukturen im Nanobereich zu fabrizieren. Extrem fein fokussierte Elektronenstrahlen bewirken chemische Umwandlungen.

von Michael Allan, Ivo Utke (EMPA), Patrik Hoffmann (EPFL),
Klaus Edinger (Carl Zeiss SMS GmbH)

dossier

La chimie au service des nanotechnologies

Des structures de grandeur nano – tels que des détecteurs ou des liaisons électriques – peuvent être fabriquées grâce à la méthode FEBIP. Avec ce processus, des modifications chimiques au moyen d'électrons libres sont activées, et des objets sont créés, d'une taille comprise entre cinq et 1000 nanomètres. Par la modification du trajet du rayon d'électrons, des structures tridimensionnelles peuvent être fabriquées, couche par couche, ou, si besoin, nivelées. La méthode FEBIP présente toutefois encore certains défauts. On essaie notamment d'en augmenter la résolution, la pureté et la précision. Dans ce domaine, les scientifiques suisses jouent un rôle prépondérant.

Um eine chemische Veränderung von Substanzen in Gang zu bringen, werden in der Regel die Zutaten vermischt und erwärmt. So verwandeln sich Mehl, Milch, Eier, Zucker und weitere vertraute Zutaten, gut vermischt und im Ofen erhitzt, in einen leckeren Kuchen. Ähnlich ergibt Fett, mit Lauge vermischt und erhitzt, ein neues Produkt, die Seife. Auch Licht kann eine chemische Umwandlung bewirken: die Photochemie. So wird eine spezielle Paste, von der Zahnarztassistentin mit blauem Licht bestrahlt, zu einer beständigen Zahnreparatur. Dass chemische Veränderungen auch mit freien Elektronen in Gang gebracht werden können, ist weniger bekannt – sind uns doch freie Elektronen im Gegensatz zu Wärme und Licht nicht vertraut. Vielleicht ohne es zu wissen, sind wir aber sehr wohl mit den Produkten der Elektronenstoss induzierten Chemie vertraut: Etwa 30% der Produktionsschritte einer integrierten Schaltung benutzen die Plasmatechnologie, bei der in einer elektrischen Entladung freie Elektronen hochreaktive Moleküle erzeugen, die je nach Produktionsschritt eine ganze Reihe wichtiger chemischer Schritte bewirken (Transistoren, elektrische Leiterbahnen und Isolatoren aufbauen etc.). Kein Computer und kein mobiles Telefon könnten ohne diese Technologie fabriziert werden.

Neue Methode

An dieser Stelle möchten wir eine noch neuere Technologie vorstellen, die Fabrikation von Nano-Gegenständen, die zwischen etwa 5 und 1000 Nanometern (nm) gross sind. Zum Vergleich: Man müsste 100'000 solcher Gegenstände, jeder 10 nm gross, hintereinander aufstellen, damit die Reihe 1 mm lang wird. Solche Gegenstände lassen sich mit keiner Drehbank, auch nicht mit der feinsten, welche die Uhrenindustrie zu bieten hat, auch nur annähernd fabrizieren.

Die grosse Stärke der freien Elektronen ist es,

dass sie sich zu extrem schmalen Bündeln fokussieren lassen, hinunter bis zu etwa 1 nm, viel feiner als jedes Werkzeug, sogar mehr als hundert mal schmaler als jeder Laserstrahl. Die Quellen solcher hoch aufgelösten Elektronenstrahlen wurden für die Elektronenmikroskopie entwickelt. Neu ist nun, dass man in die normalerweise völlig luftleere (evakuierte) Apparatur ein wenig Dampf einer geeigneten Vorläufersubstanz einlässt. Dieser Dampf bildet eine extrem dünne, nur ein Molekül dicke Schicht auf dem Substrat – einem Metall- oder Siliziumplättchen. Die scharf fokussierten Elektronen wandeln nun auf einer winzigen Fläche die flüchtigen Moleküle zu einer festen beständigen Substanz um. Je nach Art der Vorläufer-Moleküle kann man so einen «Kunststoff», einen Keramik ähnlichen Isolator oder ein Metall abscheiden. Durch geeignete Ablenkung des Elektronenstrahls kann man nun auf dem Substrat «schreiben» und Schicht für Schicht komplexe dreidimensionale Strukturen aufbauen. Da man in einem (modifizierten) Elektronenmikroskop arbeitet, kann anschliessend das winzige «Werk» auch betrachtet werden. Wegen der engen Fokussierung der Elektronen heisst die Technologie «Focussed Electron Beam Induced Processing» (FEBIP). «Processing» schliesst mit ein, das auch ein Vorläufer-Molekül gewählt werden kann, welches bei Elektronenstoss induzierter Zersetzung Material abtragen kann. Man kann also mit fokussierten Elektronenstrahlen lokal funktionales Material auftragen oder (Träger-) Material lokal abtragen.

Im Detail betrachtet ist die Verwirklichung dieses einfachen Prinzips sehr komplex. Intensive Forschung versucht nun, es besser zu verstehen und zu optimieren. So wird versucht, die Auflösung (die gegenwärtig etwa 30 nm, in wenigen Fällen sogar 1 nm beträgt), die Reinheit der abgeschiedenen Substanz (so ent-

Michael Allan ist assoziierter Professor am Departement für Chemie.
michael.allan@unifr.ch

hält ein abgeschiedenes Gold-Nano-Drähtchen gegenwärtig noch recht viel vom störenden Kohlenstoff) und die Präzision (z.B. die Einheitlichkeit der Dicke der Schicht) zu verbessern. Ein wesentlicher Beitrag zu dieser Forschung wird an der EMPA in Thun und an der EPFL geleistet.

Erforschung der Elektronen-Molekülprozesse

Um Aufschluss über die Mechanismen und Anregungen zur Verbesserung der im FEBIP ablaufenden molekularen Prozesse zu erhalten, ist es nützlich, die Details der durch Elektronenstoss bewirkten Prozesse in separaten Experimenten an einzelnen Molekülen zu untersuchen. Präzise Messungen solcher Prozesse und die Entwicklung der dazu benötigten Apparaturen haben in Freiburg eine lange Tradition.

Trotz des sehr «jungen Alters» findet die FEBIP-Technologie bereits wichtige kommerzielle Anwendungen. Ein Beispiel ist die Reparatur der Masken für die Halbleiterindustrie. Solche Masken, vom ultravioletten Licht durchleuchtet, dienen zur Übertragung der Muster für Transistoren, Leiterbahnen, etc., auf eine sich in der Fabrikation befindenden integrierten Schaltung. Da nun z.B. ein moderner Computer-Prozessor über 500 Millionen Transistoren enthält, gelingt es auch bei sorgfältigster Arbeit nicht, eine derart komplexe Maske völlig fehlerfrei zu fabrizieren – sie muss repariert werden. Keine einfache Aufgabe, wenn man bedenkt, dass man die Fehler zunächst unter den vielen Millionen (mit einem Metall auf einem dünnen Quarzplättchen gezeichneten) Mustern finden muss. Und dann muss man mit einer Präzision von 10 nm an den fehlerhaften Stellen fehlendes

Metall auftragen oder das überschüssige Metall abtragen. Diese unglaubliche Aufgabe gelingt mit der FEBIP-Technologie wie die Abb. 1 zeigt. Eine weitere wichtige Anwendung der FEBIP-Technologie besteht im Fertigen kleiner Apparate und Sensoren. Da die Strukturen direkt «geschrieben» werden können – es wird also keine Maske benötigt – besitzt man eine extrem grosse Flexibilität in Form (steuerbar durch die Elektronenstrahllenkung) und Material (wählbar durch Art der Vorläufermoleküle) der Strukturen. Ein Beispiel in Abb. 2 zeigt einen magnetischen Sensor, der in Form eines Kreuzes vier bereits vorhandene Goldelektroden verbindet. Je kleiner nun dieser Sensor abgeschieden werden kann, desto sensitiver ist er gegenüber kleinen lokalisierten Magnetfeldern, z.B. von magnetischen Kügelchen, die zur Zeit intensiv im Bereich der Biologie zur Detektion bestimmter Moleküle erforscht werden. Abb. 3 zeigt, dass es mit FEBIP gelang, Gold-Nano-Drähtchen an einem einzigen einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhrchen («carbon nanotube»), anzuschliessen. Dies erlaubt, die Leitung von elektrischen Strom durch eindimensionale Strukturen mit nur molekularem Durchmesser zu untersuchen. Abb. 4 zeigt mit FEBIP fabrizierte «Ringmauern», deren Dimensionen der Wellenlänge vom Licht ähnlich sind, und die imstande sind, Licht in ihrem Zentrum zu fokussieren.

Starke Schweizer

Die starke Stellung, die die Schweiz in der Entwicklung dieser zukunftssträchtigen Technologie einnimmt, kommt auch durch die Tatsache zum Ausdruck, dass die Organisation des zweijährlichen internationalen Symposiums in diesem Jahr einem der Autoren

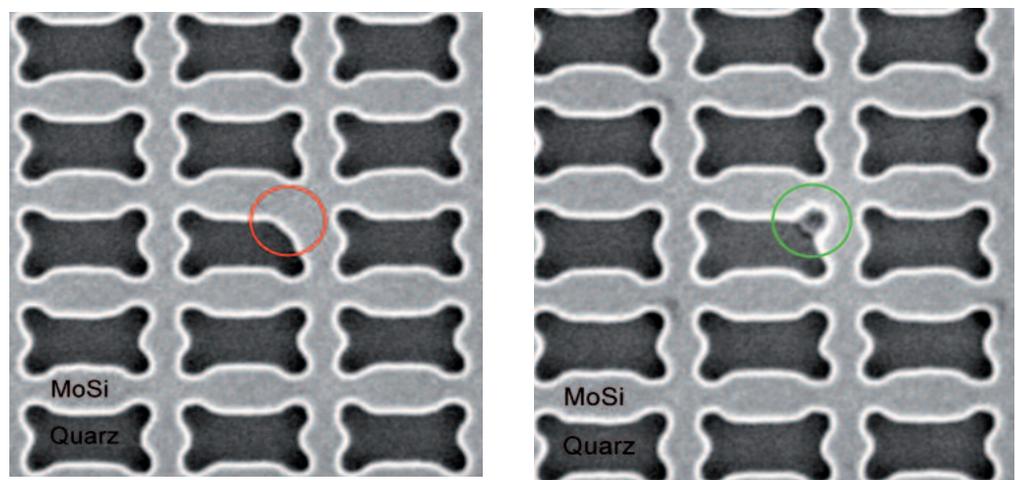


Abb. 1: Links: Elektronenmikroskopisches Bild einer schadhaften Maske. Rechts: Lokales Abtragen durch Elektronenstoss induzierte Chemie der Molybdänsilizid (MoSi) Metallschicht. Der abgetragene Bereich hat eine laterale Ausdehnung von nur 50 nm. (Carl Zeiss SMS)

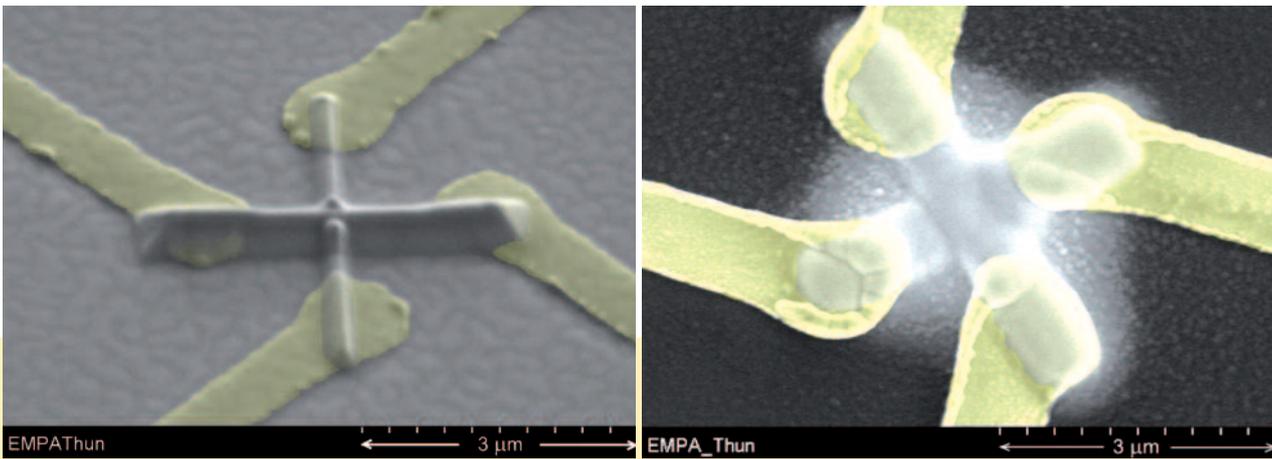


Abb. 2. Miniaturisierter magnetischer Sensor, der durch Elektronenstoss induzierte Chemie in Form eines Kreuzes zwischen vier Goldelektroden aufgetragen wurde.

(I.Utke) übertragen wurde und Anfang Juli in Thun stattfinden wird (www.empa.ch/febip-2008). Diese Forschung profitiert auch von der kürzlich ins Leben gerufenen COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) Aktion «Electron Controlled Chemical Lithography», an der die Autoren teilnehmen und die im vergangenen März in Lissabon zum ersten Mal tagte. ■

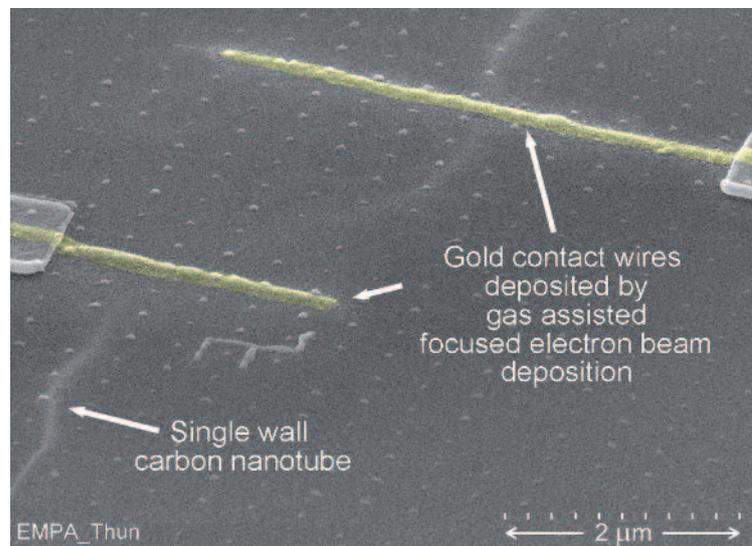


Abb. 3. Mit FEBIP fabrizierte Goldkontakte zu einem einzigen Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Der Durchmesser dieses Nanoröhrchens beträgt 2 nm. Im Bild sieht man seinen elektrischen Aufladungskontrast (nicht das Nanoröhrchen selbst), wodurch es etwas dicker erscheint. In der Nähe der Goldkontakte werden diese Ladungen abgeleitet und der Kontrast verschwindet.

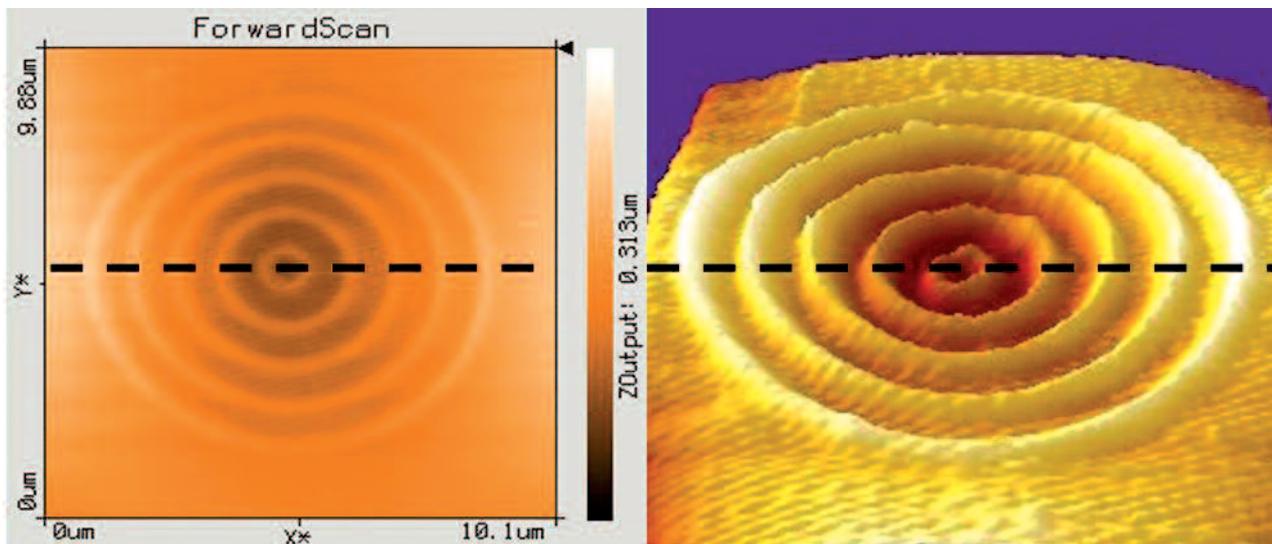


Abb. 4. Ringstrukturen mit FEBIP hergestellt um Lichtwellen im Zentrum zu fokussieren (EPFL).

Optische Mikro- und Nanorheologie

Das Verständnis grundlegender Mechanismen in der Physik polymerer und kolloidaler Stoffe erfordert Einblick in die lokalen «mikroskopischen» Vorgänge. Dies gilt sowohl für die Strukturbildung, z.B. in Gelen, als auch bezüglich der Dynamik im Gleichgewicht. Hierbei bietet die optische Mikrorheologie ein ganz neues Instrumentarium, um mechanische Eigenschaften nichtinvasiv zu vermessen.

von Frank Scheffold

dossier

Déformation et écoulement de la matière

La micro et la nanorhéologie – études, au niveau micro et nano, de la déformation et de l'écoulement de la matière sous l'effet d'une contrainte appliquée – sont des domaines de recherche relativement récents, ayant avant tout une grande importance au niveau de la recherche fondamentale. Elles sont cependant de plus en plus fréquemment utilisées dans la recherche industrielle, pour la compréhension des mécanismes fondamentaux de la physique des polymères et des matières colloïdales. La microrhéologie optique permet ainsi de mesurer les qualités mécaniques d'une matière non invasive et de déduire directement les qualités moléculaires locales. Le groupe de recherche du Prof. Frank Scheffold s'est hissé au niveau des meilleures équipes scientifiques travaillant dans le domaine de la microrhéologie optique. Il y a peu, les chercheurs fribourgeois sont parvenus à améliorer les méthodes qui rendent possibles des mesures sûres, et ce également à des fréquences beaucoup plus hautes.

Kolloidale Partikel, typischerweise von der Grösse zwischen 10-1000 Nanometern, können – je nach physikalischer Fragestellung – sehr unterschiedliche Funktionen erfüllen: In der Medizin als Träger einer Wirksubstanz, in der Industrie als Farbpigment, Füller, Verdicker oder im Bereich der Lebensmittel in Form von Fett oder Eiweissträger um nur einige Beispiele zu nennen.

In der Grundlagenforschung im Bereich der Festkörperphysik nehmen kolloidale Modellsysteme ständig an Bedeutung zu. Aufgrund der definierten und genau einstellbaren Wechselwirkungen lassen sich grundlegende Fragen der kondensierten Materie untersuchen, wie z.B. Phasenübergänge oder Diffusionsprozesse. Die relevanten Zeit- und Längenskalen (Millisekunden und Mikrometer) sind hierbei experimentell gut zugänglich. Mikroskopisch kleine Partikel können aber auch als lokale Sonden dienen. Diese können auf molekulare Eigenschaften reagieren, wie z.B. bei der Früherkennung von Krebs, wo spezielle Biomarker an der Partikeloberfläche gebunden werden. Es lassen sich aber auch makroskopische Eigenschaften weicher Materialien – z.B. Gelen, Schäumen und anderen komplexen Flüssigkeiten – mit Hilfe von solchen «Nano-Spionen» untersuchen.

Allgemein bezeichnet man die Untersuchung der Fliesseigenschaften komplexer Flüssigkeiten als Rheologie (von griechisch ϵ rhei «fließen» und $\lambda\gamma\omicron\varsigma$ logos «Lehre»). Aus der Brownschen Bewegung der Sondenpartikel lassen sich nun mit Hilfe der Mikroskopie oder der Laser-Lichtstreuung die rheologischen Eigenschaften einer Vielzahl von Systemen bestimmen – von Polymerlösungen zu Biopolymergelen und Tensidstrukturen wie man sie z.B. in Kosmetika häufig findet. Darüber hinaus ist es von Interesse, ein grundlegendes Verständnis solcher Mischsysteme zu erlangen,

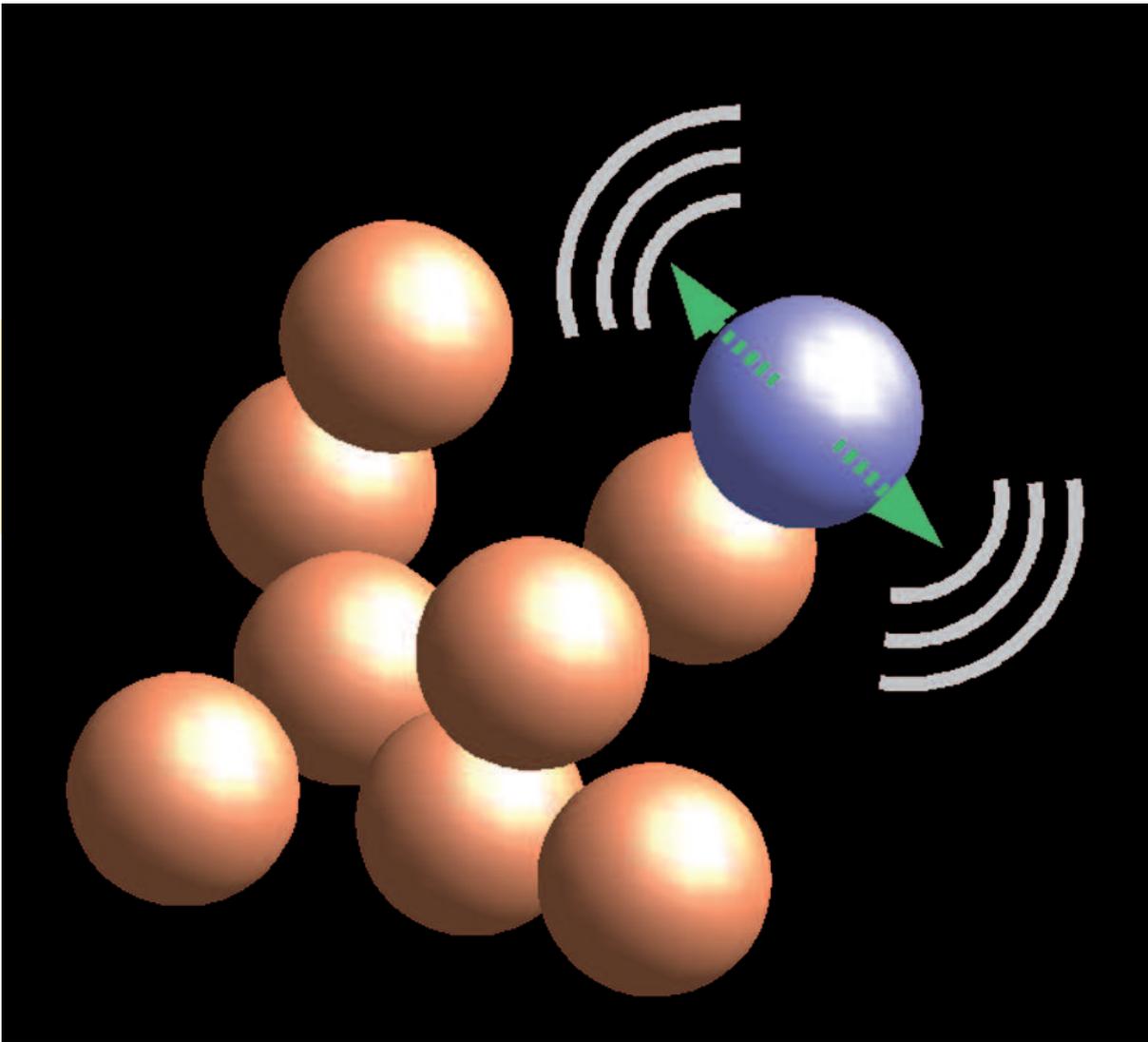
indem man die strukturellen Eigenschaften gezielt manipuliert, z.B. durch Variation der Konzentration oder des Molekulargewichts der Polymere.

Bei der optischen Mikrorheologie wird die Dynamik kolloidaler Sonden untersucht. Aus dem experimentell gemessenen mittleren Verschiebungsquadrat der Teilchen ist es möglich, auf die viskoelastischen Parameter der umgebenen Matrix zu schließen.

Insbesondere der experimentelle Zugang zu konzentrierten und optisch dichten Systemen mit Hilfe der Lichtvielfachstreuung (DWS) hat sich als sehr erfolgreich erwiesen. Unsere Gruppe gilt als eine der weltweit führenden Gruppen auf diesem Gebiet. Erst kürzlich ist es uns gelungen, die Methode bis zu sehr hohen Frequenzen zu erweitern. Die Arbeit wurde in der renommierten Fachzeitschrift *Physical Review Letters* publiziert. Zuverlässige Messungen oberhalb von MHz sind nun neuerdings möglich. Nur zum Vergleich sei erwähnt dass traditionelle mechanische Messungen in der Regel auf Frequenzen unterhalb 100 Hz limitiert sind. Mit unserer verbesserten Methodik ist es nun auch möglich strukturelle Eigenschaften, wie z.B. die Steifigkeit von Polymerketten, rheologisch zu untersuchen deren Einfluss erst bei Frequenzen oberhalb 1000 Hz detektierbar ist.

Die Mikro- und Nanorheologie ist ein relativ neues Forschungsgebiet welches sowohl von großem Interesse in der Grundlagenforschung ist (lokale nano-rheologische Eigenschaften, Biophysik) als auch mehr und mehr Anwendungen in der Industrieforschung findet. Unsere Gruppe pflegt deshalb einen intensiven Kontakt mit internationalen Firmen wie zum Beispiel Unilever, Procter & Gamble sowie Firmen in der Schweiz wie Nestlé oder Sika Technologies. ■

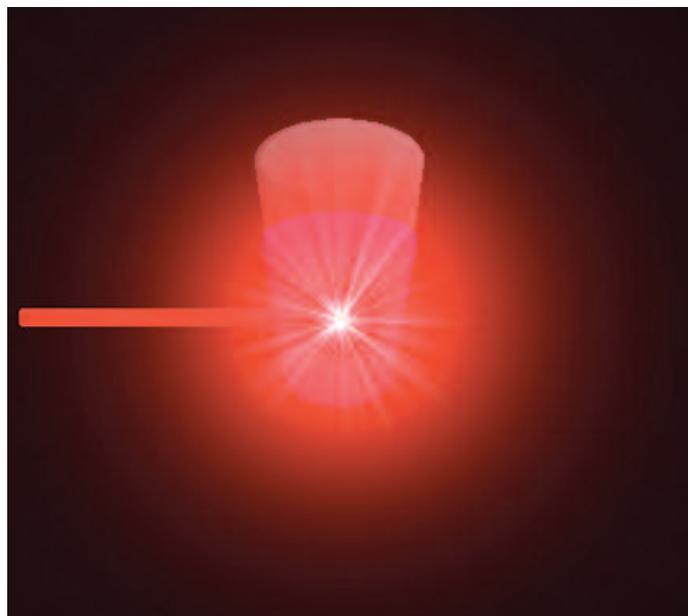
Frank Scheffold ist assoziierter Professor am Departement für Physik.
frank.scheffold@unifr.ch



Oben: Brownsche Bewegung eines Nanoteilchens in einem Gel-Netzwerk.
 Unten: Streuung von Laserlicht an einem optisch dichten Material.

Highlight in the SPIE Newsroom: Zakharov and F. Scheffold: «Light scattering technique reveals properties of soft solids».
<http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/397/2006090397.PDF>

N. Willenbacher, C. Oelschlaeger, M. Schöpferer, P. Fischer, F. Cardinaux and F. Scheffold: «Broad Bandwidth Optical and Mechanical Rheometry of Wormlike Micelle Solutions», *Physical Review Letters* 99, 068302 (2007)



Modèles mathématiques en nanobiologie

Parce que le domaine de la nanobiologie est par essence pluridisciplinaire, la modélisation et la manipulation de ses systèmes complexes font appel à des techniques issues de la biologie, de la physique, de la chimie et des mathématiques.

par Christian Mazza
et Jean-Pierre Gabriel

dossier

Mathématique aide

Zunächst werden die Gene eines Abschnitts der DNA in ein Ribonukleinsäure-Molekül verwandelt (RNA). Dabei gehen die Basen A, U, G und C miteinander Verbindungen ein. Bei einem RNA-Strang mit 27 vorhandenen Basen sind 1,3 Billionen Verbindungen möglich. Trotzdem wählt die Natur stets jene aus, die ein optimales Funktionieren ermöglicht. Der Wissenschaft ist es bisher nicht gelungen herauszufinden, wie dies geschieht. Hier kommen Mathematiker zum Zug, die die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Verbindungen berechnen. Einige der RNA verschieben sich zu Ribosomen (eine Art grosser Fabrik) und werden in Proteine umgewandelt, die wiederum das Funktionieren der Zelle ermöglichen. Wiederum mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung soll festgestellt werden, wie Ribosome entscheiden, wie viele Proteine sie idealerweise brauchen. Einige dieser Proteine dienen in der Nanotechnologie als Modelle für molekulare Motoren – eine Art Miniaturroboter – die Chromosomen innerhalb einer Zelle transportieren. Sie bewegen sich dabei durchschnittlich zwei bis fünf Mikrometern pro Sekunde vorwärts. Mit mathematischen Modellen kann die Funktionsweise dieser molekularen Motoren dargestellt werden.

Les maths sont présentes à chaque niveau de la nanobiologie, à commencer par celui de sa définition. Le terme nano n'indique-t-il pas l'échelle à laquelle évoluent les processus étudiés, à savoir le nanomètre, i.e. le milliardième de mètre ? La base de données qui encode le code génétique, l'ADN, est constituée de segments de longueurs variables, et dont certains codent les protéines (gènes). Ces gènes sont d'abord transcrits – ou copiés – pour être ensuite transformés en acide ribonucléique, l'ARN. Un gène peut être décrit grossièrement par une suite de symboles choisis dans l'alphabet formé des quatre lettres, A, T, G, et C. Lors de la transformation, la base T devient une base notée U. Si l'ARN ne constitue pas une double hélice comme l'ADN – où les lettres A-T et G-C sont appariées de part et d'autre de la double hélice – certaines liaisons A-U ou G-C peuvent néanmoins se créer sur le brin d'ARN. Ces liaisons seront ensuite responsables de la forme spatiale prise par l'ARN.

La figure 1 montre un exemple de mot où les

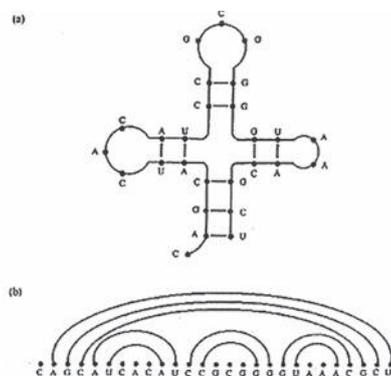


Fig. 1 (b) Un mot en A, U, G et C, avec quelques liaisons chimiques représentées par des arcs. (a) La forme spatiale cohérente avec les liaisons chimiques de type A-U ou G-C

liaisons chimiques entre les bases A-U et G-C sont représentées par des arcs. En dessus du diagramme en arc figure la structure secondaire associée. Pour un petit ARN de 27 bases, pas moins de 1,3 billions de formes sont possibles ! Toutefois, la nature n'en choisit qu'une, à savoir la seule qui possède la forme requise optimale lui permettant d'être fonctionnelle. La science ignore toujours comment cette structure optimale se forme à partir du brin d'ARN. Les mathématiciens étudient ce problème en associant une probabilité à chaque forme possible construite suivant les principes de la biochimie et cherchent ensuite la plus probable. Diverses représentations de ces ARN sont utilisées, comme indiquées dans la figure 2. Par exemple, la représentation donnée par des chemins permet de faire le lien entre les structures secondaires et certains modèles bien connus en probabilité.

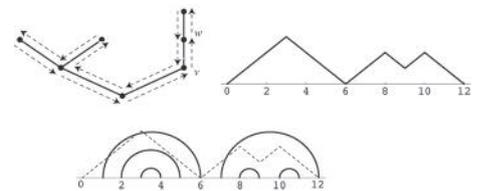


Fig. 2 Diverses représentations mathématiques des structures secondaires. Les diagrammes les plus utilisés sont la représentation en arbre, en arc, et celle donnée par des chemins.

La vie modélisée

Certains de ces ARN se déplacent vers les ribosomes (sorte de grosses usines) qui les transformeront en protéines. Ces dernières pourront alors participer au fonctionnement de la cellule. Leur rôle est envisagé ici en tant

Christian Mazza est professeur ordinaire au Département de mathématiques.
christian.mazza@unifr.ch

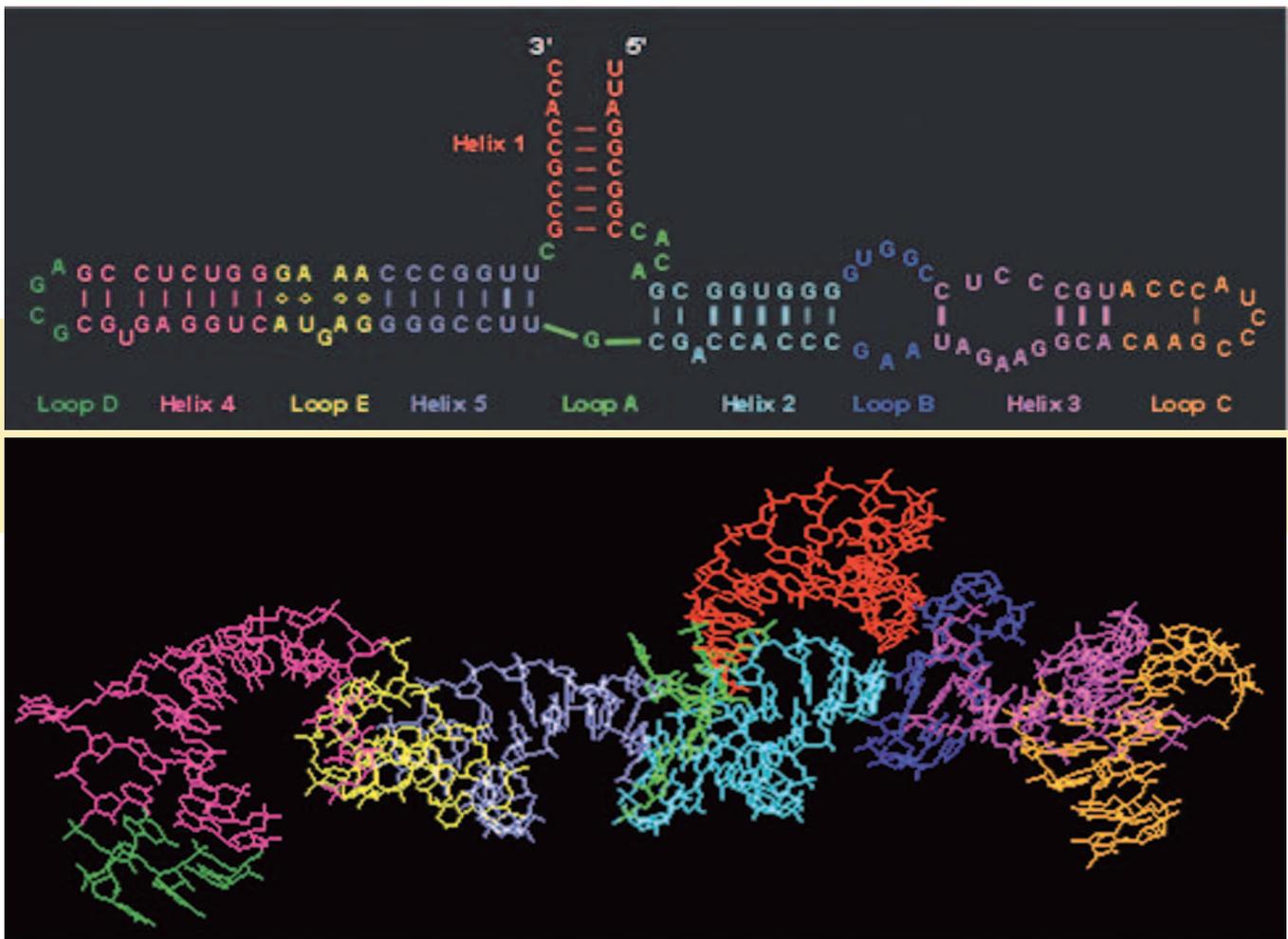


Fig. 3 Une molécule d'ARN sous forme de structure secondaire et, en dessous, la forme biochimique adoptée.

que facteurs de transcription qui aideront ou inhiberont la transcription d'autres gènes. Un problème très actuel de biomathématiques consiste à comprendre comment la cellule parvient à régler le nombre de chaque protéine afin d'atteindre un état fonctionnel optimal. A nouveau, la théorie des probabilités joue un rôle fondamental. On essaie notamment d'expliquer comment une cellule peut assurer un rythme circadien de 24 heures en utilisant des mécanismes aléatoires. Les méthodes mathématiques servent aussi à construire synthétiquement de tels systèmes, en permettant une modélisation effective des mécanismes de régulation. Il s'agit d'un domaine émergent des biotechnologies et des nanotechnologies.

Un nanopas pour la science

Certaines des protéines mentionnées ci-dessus servent de modèles pour les machines moléculaires en nanotechnologie. Les moteurs moléculaires, sorte de robots miniaturisés, transportent par exemple des chromosomes de part et d'autre de la cellule lors de la mitose (moteurs de type kinésine), ou

déplacent certaines vésicules (moteurs de type dynéine). Ces travailleurs circulent à la vitesse moyenne de 2 à 5 millièmes de mètre par seconde, et ce sur des microtubules ou sur des filaments d'actine, sorte d'axes routiers qui permettent aux moteurs d'atteindre des endroits précis dans la cellule. Ces moteurs peuvent transporter des cargaisons de neurotransmetteurs sur des distances de 1 mètre en 2 à 6 jours.

La ressemblance entre le mode de déplacement utilisé par ces moteurs et celui des êtres humains est particulièrement intéressante... et troublante : les moteurs possèdent en effet des jambes, et marchent littéralement sur les filaments. Pour avancer, le moteur lève sa première jambe, accroche le pied correspondant sur le filament, puis soulève sa deuxième jambe pour la ramener vers la première. La longueur typique d'un tel pas est de 8 nanomètres. Des modèles mathématiques ont été développés afin d'expliquer le mode de fonctionnement de ces moteurs. En effet, la construction synthétique de machines moléculaires similaires ne pourra se passer d'une compréhension fine des

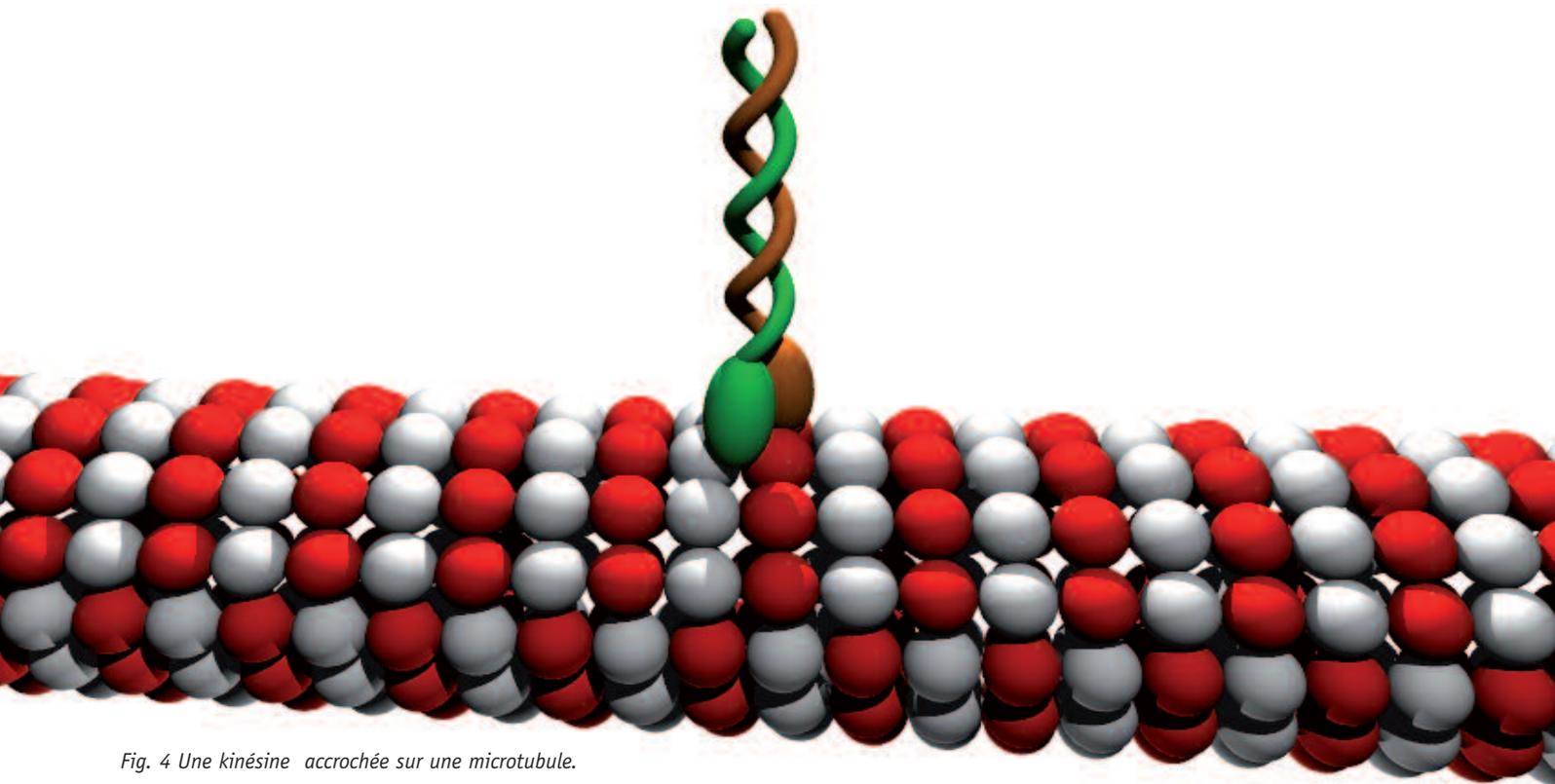


Fig. 4 Une kinésine accrochée sur une microtubule.

exemples issus de la nature et les mathématiques constituent le langage idéal à leur description.

Une autre catégorie de moteur permet la contraction de nos muscles (figure 5). Ces forces proviennent d'un système complexe qui ultimement induit une liaison entre des molécules de myosine et d'actine, formant ainsi un pont. La myosine se présente sous la forme de têtes attachées à une queue et dès l'attachement, l'angle entre une tête et sa queue diminue, attirant ainsi l'actine avec pour conséquence la production d'une force. Ces ponts se détachent puis se rattachent à grande vitesse (environ 60 fois par seconde) et la force produite par le muscle dépend de leur dynamique. Un tel système constitue un

nanomoteur et le recours aux modèles mathématiques est incontournable si l'on désire comprendre la relation entre la force produite au niveau macroscopique et la dynamique des ponts qui se déroule au niveau microscopique. Nos muscles n'ont toutefois pas l'exclusivité de ce mécanisme, car il est aussi à l'origine des mouvements amiboïdes des cellules animales, de la phagocytose et d'une partie de la division cellulaire. On le trouve même chez des cellules végétales qui l'utilisent pour remplir certaines de leurs fonctions. Vu leur caractère ubiquitaire, nous comprenons l'enjeu que représente la compréhension du fonctionnement de ces nanomoteurs. ■

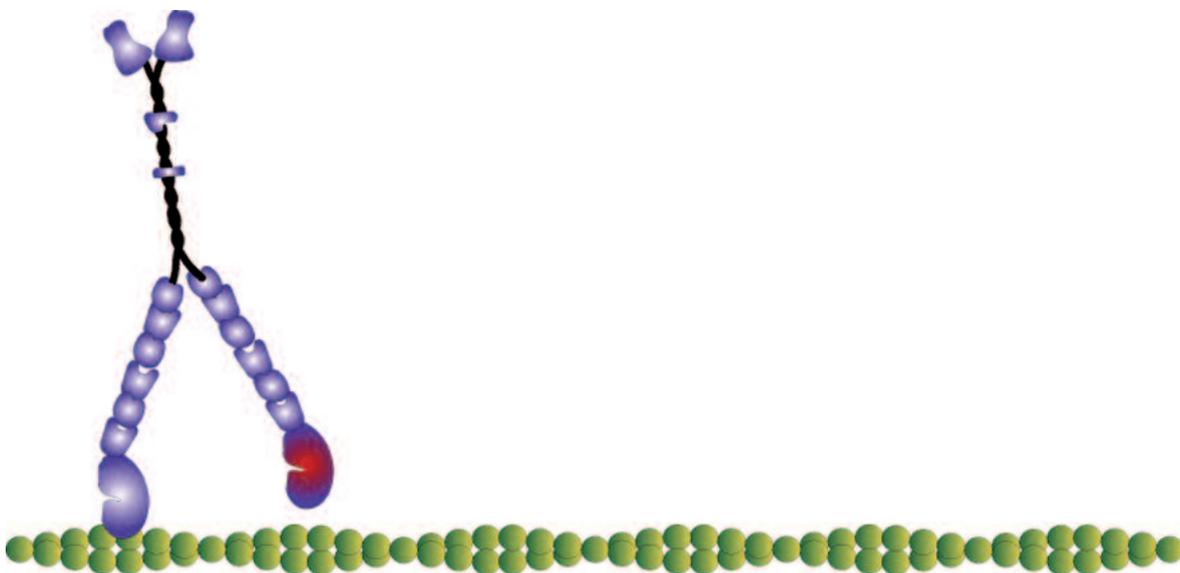


Fig. 5. Une myosine marchant sur un filament d'actine. Ces moteurs sont les acteurs nécessaires à la contraction des muscles.

Nanotechnologie im Alltag: Segen oder Fluch?

Nanopartikel befinden sich in der Luft – sei es durch Abgase – oder sind natürliche Bestandteile von Lebensmitteln. Dazu sorgt die Industrie dank synthetischen Nanoteilchen für clevere Konsumgüter wie schmutzabweisende Kleidung oder kratzfeste Brillen. Doch die möglichen Gefahren dieser neuen Technologie beunruhigen und verunsichern.

dossier

von Anna Stradner

Bénédiction ou malédiction ?

L'utilisation de la nanotechnologie est déjà largement répandue dans de nombreux domaines de l'industrie et des produits de consommation. Son application aux denrées alimentaires suscite cependant des craintes. Il faut faire néanmoins la distinction entre nanoparticules naturelles et synthétiques. Les particules naturelles se trouvent par exemple dans le lait. On utilise aussi de telles particules dans les produits fonctionnel food, nanoparticules qui peuvent être digérées et éliminées par le corps, comme d'autres molécules biologiques. Par contre, les nanoparticules synthétiques peuvent entrer dans notre corps par les poumons, la peau ou la nourriture ingérée, mais elles ne sont pas éliminées par l'organisme. En Suisse, elles ne sont toutefois pas utilisées dans les produits alimentaires, et il est peu probable – et approprié – d'y recourir. Cette technologie est par contre utilisée pour développer de nouveaux matériaux d'emballage, dits «intelligents».

Wir werden permanent mit Nanopartikeln aus Quellen wie etwa Strassenverkehr und Verbrennungsanlagen bombardiert – und das seit unserer Geburt. Selbst in zahllosen Lebensmitteln finden sich Nanoteilchen in Form natürlicher Kolloide. Die Eiweisskomponenten der Milch als prominentes Beispiel etwa liegen als nanoskaliges Kasein (100 – 200 nm) und Molkenprotein (etwa 3 nm) vor. Offensichtlich leben wir ganz gut in dieser nanoreichen Umwelt. Sind die Risiken in Verbindung mit synthetischen Nanopartikeln, die immer häufiger in Presse und Fachliteratur facettenreich von sachlich neutral über spekulativ und emotional bis hin zu utopisch-weltuntergangsprophetisch angeprangert werden, also bloss ein Mythos?

Nano im Lebensmittelsektor

Nanotechnologie wird als die nächste Revolution in vielen Industriezweigen gehandelt. Tatsächlich kann sich die Liste der schon auf dem Markt erhältlichen oder in Entwicklung befindlichen Konsumgüter blicken lassen: Kratzfeste Brillengläser, transparente Sonnencremes, selbstreinigende Oberflächen dank Lotuseffekt und ultraleichte Fahrräder sind nur ein paar Highlights aus der Kollektion.

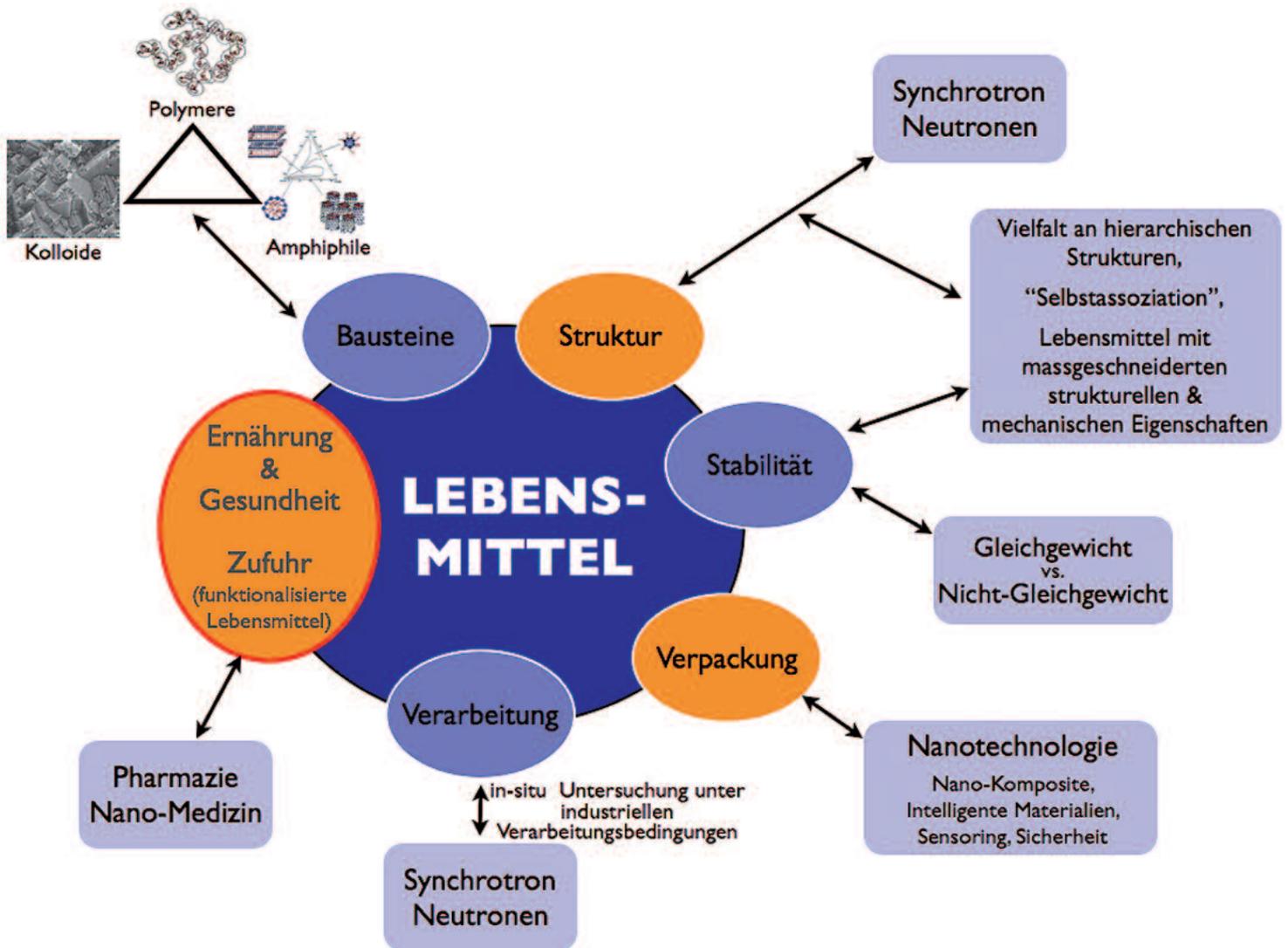
Während der Einsatz von Nanopartikeln in diversen Industriesektoren wie z. B. Kosmetik, Medizin, Verpackungsbranche, Telekommunikation & Optik sowie Elektronik von der Öffentlichkeit allgemein mit wenig Vorbehalt akzeptiert wird, löst er im Zusammenhang mit Lebensmitteln sehr kontroverse Diskussionen aus. Dieser Artikel konzentriert sich deshalb auf die Aspekte der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich und versucht aufzuzeigen, wo Nano ein unbestreitbares Anwendungspotential birgt und wo weitere wissenschaftliche Abklärungen bzw. nationale und internationale Anstrengungen nötig sind.

Mögliche nano-basierende Anwendungen in der Lebensmittelindustrie reichen von der Nanoverkapselung von Spurenelementen und Vitalstoffen zur Optimierung der Bioverfügbarkeit bis hin zu ausgeklügelten Verpackungsmaterialien (siehe Abbildung S. 38). Nanopartikel aus Tonerde und Zink-, Silizium- und Titanoxid, eingearbeitet in Kunststofffolien, erhöhen etwa die Reissfestigkeit und Hitzebeständigkeit, verringern das Durchdiffundieren von CO₂, Sauerstoff und Wasserdampf und/oder verhindern das Eindringen von UV-Strahlung. Eine durchaus im Bereich des Möglichen angesiedelte Zukunftsvision stellen auch Schutzfolien dar, die durch einen Farbwechsel verdorbene Lebensmittel anzeigen. Viele sogenannte 'Functional Food' Produkte (auch Nutraceutical genannt) und 'Energy Drinks' wiederum verdanken ihre Wirkung den in Nanocontainern (Mizellen, Liposomen, Nanoemulsionen usw.) verkapselten Wirkstoffen (Spurenelemente, Vitalstoffe, Vitamine, Aromen), die so im Körper dorthin gelangen, wo sie ihre volle Wirkung entfalten können. Hier werden Konzepte aus der Pharmazie mit klassischer Lebensmitteltechnologie verknüpft, um gesundheitsfördernde Produkte zu kreieren. Glücklicherweise nur in den Wunschträumen unverbesserlicher Fastfood-Fanatiker und Skandal witternder Journalisten existent ist die berühmt-berüchtigte Nano-Pizza: Ausgestattet mit unterschiedlichen Nanokapseln können wir sie durch Wahl der Leistung in der Mikrowelle in die Pizza unseres Geschmacks verwandeln – Käse oder Schinken, Spinat oder Hawaii, Margherita oder Thunfisch.

Gefahrenpotential synthetischer Nanopartikel

Ein heikles Thema stellt die Frage nach den Gefahren der Nanotechnologie für den Menschen dar. Was passiert, wenn Nano- ▶

Anna Stradner ist Oberassistentin am Adolphe Merkle Institut.
anna.stradner@unifr.ch



Schlüsselforschungsgebiete in der Lebensmittelwissenschaft und –technologie: Bereiche, in denen die Nanowissenschaften schon jetzt eine besonders ausgeprägte Rolle spielen oder in Zukunft wichtige Beiträge leisten können, sind in orangefarbenen Ovalen aufgeführt. Während die erfolgreiche Anwendung der Nanowissenschaften und ihrer Methoden in der Verpackungstechnologie sowie in der Erforschung der strukturellen Eigenschaften gemeinhin wohlwollend zur Kenntnis genommen werden, wirft spätestens der unmittelbare Einsatz von Nanopartikeln in Ernährung und Gesundheit zu Recht kritische Fragen auf.

teilchen in unseren Körper eindringen und dort Schaden anrichten? Hierbei ist zu betonen, dass potentiell in den Lebensmitteln zum Einsatz kommende Nanoteilchen – wie etwa Liposomen oder Mizellen als Wirkstofftransporter, die instabil und löslich sind und vom Körper wie andere biologische Moleküle verdaut und abgebaut werden – wenig Anlass zu Bedenken geben. Vielmehr sind es die syn-

thetischen Nanoteilchen (körperfremde Nanostrukturen, die vom Organismus nicht abgebaut werden können), die uns Sorgen bereiten.

Zur Zeit gibt es kaum Studien über mögliche toxikologische Wirkungen von synthetischen Nanopartikeln, die über die Lunge, die Haut oder die Nahrungsaufnahme direkt in unseren Körper gelangen. Genauso unklar ist, wie eine

Abschätzung der Bedenklichkeit für den Menschen sinnvoll getroffen werden kann. Die speziellen Eigenschaften der Nanomaterialien überfordern bestehende Gesetze und Verordnungen, die für herkömmliche Konsumgüter klare Richtlinien hinsichtlich Gesundheitsrisiken und Umweltverträglichkeit bereitstellen. Anders als bei traditionellen Produkten, deren toxikologische Eigenschaften durch Kriterien wie die Gesamtmenge bestimmt werden, dürfte die Toxikologie nanostrukturierter Materie wohl eher eine Funktion der Partikelanzahl, Gesamtoberfläche und Oberflächenbeschaffenheit bzw. -reaktivität sein.

Vorsicht ist geboten

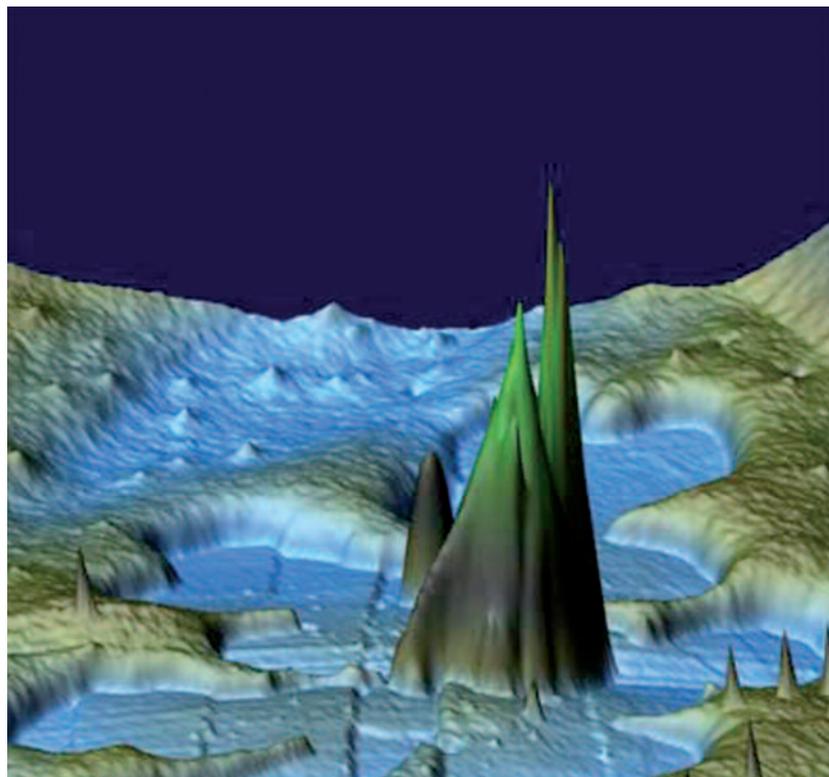
Aktuell ist die Anzahl der im Foodsektor auf dem Weltmarkt erhältlichen «Nano-Produkte» sehr beschränkt, und in der Schweiz sind nach letztem Stand der Untersuchungen keine Nahrungsmittelprodukte mit synthetischen Nanopartikeln in den Regalen zu finden. Da es sich bei Lebensmitteln ohnehin schon um von Natur aus nanostrukturierte Materialien handelt, wird sich auch in Zukunft der Einsatz von Nanotechnologie in der Lebensmittelbranche auf die Nutzung der daraus hervorgegangenen Analyse- und Charakterisierungsmethoden (Atomkraft- und Elektronenmikroskopie, Neutronen-, Röntgen- und Lichtstreuung etc.) sowie den Einsatz von neuen, «intelligenten» Verpackungsmaterialien konzentrieren. Die Wahrscheinlichkeit, dass die für die Lebensmittelbranche kaum interessanten synthetischen Nanoteilchen dereinst Einzug in unsere Lebensmittel halten, ist daher weder zweckmässig noch wahrscheinlich.

Wie eingangs schon erwähnt: dass wir Nanopartikeln ausgesetzt sind und unser Körper damit gut zu Recht kommt, ist eine Jahrtausende alte Tatsache des Lebens, auch wenn der Begriff ‚nano‘ ein Kind unserer Zeit ist. Diese unproblematische Koexistenz mit natürlich vorkommenden Nanopartikeln etwa in der Luft oder in unserer Nahrung liefert jedoch keinerlei Garantie dafür, dass unser Körper auch mit im Non-Food Bereich zur Diskussion stehenden anorganischen Nanopartikeln, die man nicht in der Natur findet, ebenso gut umgehen kann.

Hier sind die Wissenschaftler gefordert zu gewährleisten, dass das Wissen über mögliche (toxische) Wirkungen und Risiken mit der

Entwicklung und Herstellung von zunehmend komplexen Nanomaterialien Schritt halten kann. Das Bundesamt für Gesundheit und das Bundesamt für Umwelt erarbeiten zurzeit zusammen mit Wissenschaft, Industrie sowie Umwelt- und Konsumentenschutzverbänden ein Sicherheitsraster für die Anwendung synthetischer Nanomaterialien (Download unter www.bag.admin.ch/nanotechnologie). Essentiell dabei wird sein, nicht zu verallgemeinern und klar herauszukristallisieren, welche Parameter für die Risikoabschätzung heranzuziehen sind um möglichst keinen Raum mehr für Spekulationen zu bieten. Eine wichtige Rolle wird dabei das vor kurzem vom Bundesrat genehmigte neue nationale Schwerpunktprogramm «Chancen und Risiken von Nanomaterialien» (NFP 64) spielen, das voraussichtlich im Frühjahr 2009 starten wird. ■

Literaturempfehlung: Informationsbroschüre «Nano! Nanu?» des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung (Download unter www.ta-swiss.ch/d/arch_nano_pfna.html)



Nanostrukturen in Quantenkristallen

Seit 15 Jahren nutzen Forscher der Universität Helium-Kristalle, um Atome und Moleküle unter extremen Bedingungen gefangen zu halten und zu untersuchen. Kürzlich stellte sich heraus, dass die eingebrachten atomaren «Verunreinigungen» superfluides Helium erstarren lassen und eine neue Form von festem Helium bilden.

von Antoine Weis und Peter Moroshkin

dossier

Cristaux d'hélium

En baissant la température jusqu'au zéro absolu et en augmentant la pression à 25 bar, l'hélium devient solide, et de grands cristaux d'hélium se forment. Le groupe de travail du Dr Peter Moroshkin et du Prof. Antoine Weis a étudié, grâce à de nombreuses expériences, les conséquences de la présence de particules étrangères sur ces cristaux. Et ils ont découvert qu'à la fonte d'un cristal d'hélium doté de particules étrangères, la partie «polluée» demeure sous la forme de colonne solide (Iceberg). La découverte est étonnante, car les atomes d'hélium et les atomes alcalins utilisés se repoussent. Les chercheurs étudient donc si le phénomène observé peut être qualifié de cristal ionique. Si cela était le cas, il s'agirait de la première manifestation d'objet mésoscopique.

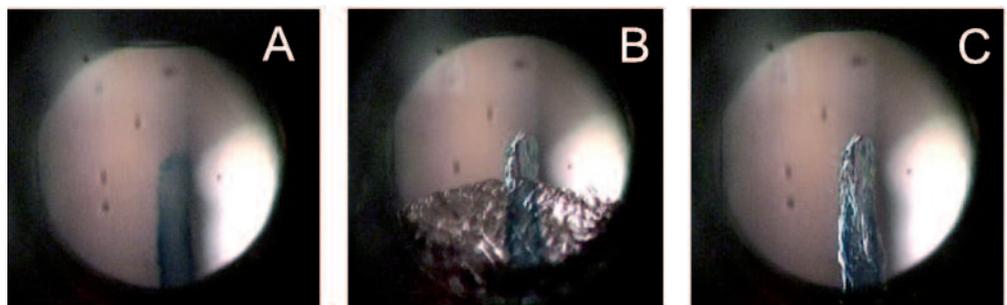
Helium ist eine der wundersamsten Substanzen des Periodensystems. Das bestens bekannte Gas verflüssigt sich erst bei 4.22 K (= -269 °C). Da Heliumatome sehr leicht sind, ist ihre Position wegen der Heisenberg'schen Unschärferelation bei tiefen Temperaturen unscharf, d.h. man kann den Ort, an dem sich ein einzelnes Atom aufhält, nicht mehr genau bestimmen. Jedes Atom wird gewissermassen über einen Raumbereich verschmiert, dessen Ausdehnung mit sinkender Temperatur wächst (man spricht von Delokalisierung). Bei 2.17 K wird der Unschärfbereich grösser als der mittlere Abstand zwischen den Atomen, so dass sich die Aufenthaltsorte der einzelnen Atome stark überlagern. Hierdurch verlieren die Atome ihre Individualität und treten als ununterscheidbare Teile eines kollektiven Zustands auf. Man spricht von einem makroskopischen Quantenzustand oder einer superfluiden Quantenflüssigkeit.

Die beim weiteren Absenken der Temperatur immer grösser werdende Delokalisierung der Atome bewirkt, dass sich superfluides Helium sogar am absoluten Nullpunkt nicht verfestigt, eine einzigartige Eigenschaft unter allen Elementen des Periodensystems. Nur eine Erhöhung des Drucks auf 25 bar bringt die Atome soweit zusammen, dass das Helium fest wird. Führt man diese Kompression sorgfältig

aus, lassen sich grosse He-Kristalle züchten. Da sich die Atome im Kristall weitgehend überlappen, spricht man von einem Quantenkristall, einer einzigartigen Form der Materie, bei der zwar jedes Atom seine Individualität verloren hat, jedoch die für Kristalle typische strukturelle Ordnung bestehen bleibt.

Eine neue Form von festem Helium

Seit mehr als 15 Jahren untersucht unsere Arbeitsgruppe Helium-Kristalle, die mit atomaren Partikeln (Atome, Moleküle, Ionen, Exciplexe, Cluster) dotiert sind (Box 1, S. 41). Hierbei werden Methoden der optischen, der Radiofrequenz-, und der Mikrowellen-Spektroskopie benutzt. Die Fremdpartikel beeinflussen die lokale Helium-Umgebung, wobei zwei wesentliche Arten von Nanostrukturen gebildet werden: Blasen und Schneebälle (Box 2, S. 41). In Bild A sieht man den He-Kristall durch eines der zwei cm grossen Zellenfenster. Die dotierte Region ist an ihrer blauen Farbe erkennbar, die von der Lichtstreuung durch 10 bis 100 nm grosse Aggregate (Cluster) von Rubidium herrührt. Senkt man den He-Druck, so schmilzt der dotierte Kristall. Bild B zeigt den Kristall (unten) im Gleichgewicht mit flüssigem Helium (oben). Bei diesem Schmelzvorgang haben wir beobachtet, dass die dotier-

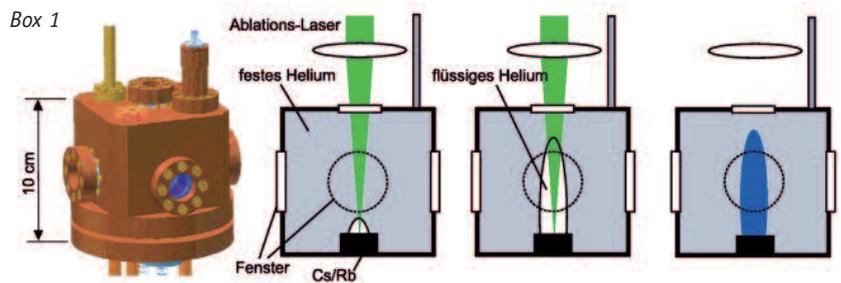


Antoine Weis ist ordentlicher Professor am Departement für Physik.
Dr. Peter Moroshkin, post-doc im Departement für Physik.
antoine.weis@unifr.ch
peter.moroshkin@unifr.ch

te Region als feste Säule («Eisberg») im flüssigen Helium stehen bleibt, sogar wenn der Kristall ganz geschmolzen ist, das flüssige Helium aber noch unter Druck steht (Bild C). Die Existenz dieses festen Eisbergs (dessen Dichte zwischen den Dichten von flüssigem und festem Helium liegt) ist ein Rätsel, da Helium-Atome und Alkali-Atome sich abstoßen, wohingegen eine feste Struktur nur durch anziehende Kräfte zwischen den Konstituenten zustande kommen kann.

Wir haben spekuliert (P. Moroshkin et al., Nature Physics 3, 2007, 786-789), dass der Eisberg ein Ionenkristall ist, d.h., ein durch elektrische Kräfte gebundenes Konglomerat aus Schneebällen und Elektronenblasen (s. Box 2). Schneebälle und Blasen sind seit Jahrzehnten bekannte Objekte, die bislang nur in isolierter Form untersucht wurden. Der von uns entdeckte Eisberg ist höchstwahrscheinlich deren erste Manifestation als mesoskopisches Objekt. Allerjüngste Beobachtungen veranlassen uns anzunehmen, dass der Eisberg eine (feste) poröse Grundstruktur hat, die superfluides Helium in nanoskopischen Kanälen enthält.

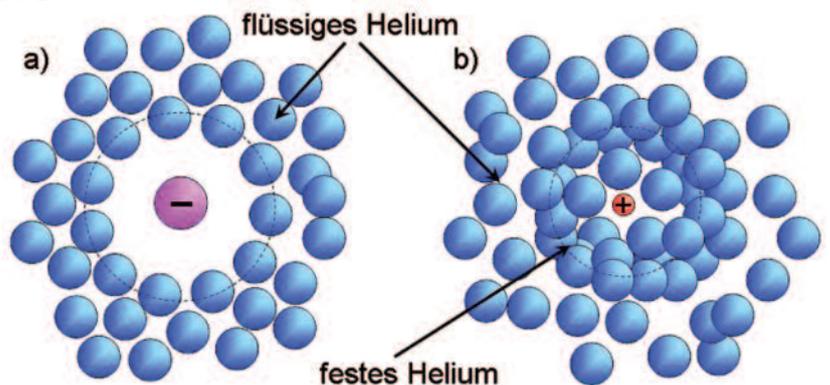
In einem vom SNF geförderten Projekt überprüfen wir derzeit diese Hypothesen an Barium-dotierten He-Kristallen. Mit elektrischen Messungen konnten wir zeigen, dass sich sowohl positiv als auch negativ geladene Teilchen im Eisberg befinden. Mit spektroskopischen Methoden wollen wir nun Barium-Atome sowie deren positive Schneebälle und Elektronenblasen im Eisberg untersuchen. Hiervon erhoffen wir uns tiefere Einsichten in die Struktur und Wachstumsdynamik dieser neuartigen Form von Quantenkristallen. ■



Dotierung durch Laserablation

Probenpräparation: Eine Kupferzelle (links) wird in einem Helium Bad auf 1.5 K abgekühlt. Danach wird Helium-Gas in die Zelle gebracht, wo es als Flüssigkeit kondensiert. Ist die Zelle mit flüssigem Helium gefüllt, wird der Druck in der Zuführungsleitung langsam erhöht und bei 25 bar bildet sich ein He-Kristall, der die ganze Zelle ausfüllt. Am Boden der Zelle befindet sich ein kleines Metallklümpchen (Cs oder Rb), auf das die Strahlung von einem sehr intensiven gepulsten Laser fokussiert wird. Der Laserstrahl verursacht zweierlei: Einerseits schmilzt der Kristall durch die von den Laserpulsen erzeugte Wärme, und es entsteht ein nach oben wachsender Kanal von flüssigem He über dem Metall (Mitte). Andererseits schlägt die fokussierte Strahlung Atome und grössere Verbände von Atomen aus dem Metall, welche sich in dem flüssigen Bereich verteilen (Mitte). Ist die Säule genügend hoch, wird der Laser abgeschaltet, und das Helium wird wieder fest (rechts). Hierdurch werden die eingebrachten Teilchen in den Kristall eingebettet (etwa 108 isolierte Atome, 1010 Cluster, und 1014 geladene Teilchen)

Box 2



Blasen und Schneebälle

Als Edelgasatom hat He eine mit zwei Elektronen gefüllte Schale, in der kein weiteres Elektron Platz hat (Pauli Prinzip). Bringt man ein Elektron in superflüssiges Helium, stösst es daher benachbarte Heliumatome stark ab, und es entsteht eine sogenannte Elektronenblase, in der die He-Atome nur bis auf 1.8 nm an das Elektron herankommen (Bild a). In festem Helium haben die Blasen einen Radius von etwa 1 nm. Ähnliche, wenn auch kleinere-atomare Blasen mit einem Radius von 0.6 nm entstehen auch um Alkaliatome, die in ihrer äusseren Schale ein einziges Elektron haben. Im Falle eines positiv geladenen Erdalkali-Ions übt dessen inhomogenes elektrisches Feld eine anziehende Kraft auf die umgebenden He Atome aus, welche stärker als die abstossende Pauli-Kraft ist. Die Anziehung ist so stark, dass das Helium sich lokal verfestigt und sich um jedes Ion eine Kruste aus festem Helium mit einem Durchmesser von 1.6 nm bildet (Bild b). Diese feste Defektstruktur wird Schneeball genannt.

Quantensprünge in der Nanowelt

Nanowissenschaften werden oft auf eine Beschäftigung mit Nanoteilchen reduziert, die man manipulieren oder zu grösseren Strukturen zusammensetzen kann. Dabei zeigt gerade das Innenleben der Nanowelt faszinierende Phänomene; besonders eindrücklich sind diese beim elektrischen Strom.

dossier

von Dionys Baeriswyl

Au cœur des nanos

On a souvent une vision limitée des nanosciences, qui sont réduites à la simple étude de nanoparticules et que l'on peut manipuler ou assembler pour construire de plus grandes structures. La vie intérieure du monde des nanosciences révèle cependant des phénomènes fascinants. Ces derniers sont particulièrement impressionnants quand on observe le courant électrique.

Wir lernen in der Elementarphysik, dass die Stromstärke I eines metallischen Leiters proportional zur angelegten Spannung U wächst, $I = GU$, wobei die Konduktanz G das Inverse des elektrischen Widerstandes ist, $G = 1/R$. Bei Stromkabeln, die wir im Alltag verwenden, wächst die Konduktanz linear mit dem Leiterquerschnitt S an. Was nun, wenn wir diesen Querschnitt kleiner und kleiner machen? So klein, dass die Wellennatur der für den Ladungstransport verantwortlichen Elektronen sichtbar wird? Diese Frage stellt sich auch beim Übergang von geometrischer zur Wellenoptik, der notwendig ist, wenn Aperturen von der Grössenordnung der Wellenlänge des Lichts sind. Beim elektrischen Leiter wie beim Lichtleiter sind die möglichen propagierenden Wellen (Materiewellen hier, Lichtwellen dort) aufgrund der beschränkten Querschnittsfläche auf eine kleine Zahl von «Eigenmoden» (bei den Elektronen spricht man auch von verschiedenen Kanälen) reduziert.

Konduktanzstufen

Die Existenz einer endlichen Zahl von Kanälen führt beim Stromkabel dazu, dass sich die Konduktanz nicht stetig, sondern stufenweise als Funktion des Leiterquerschnitts verändert. Die Grösse der Stufen beträgt $2e^2/h$ oder – je nach Symmetrie, ein Mehrfaches davon – wobei e die Elementarladung (ein Elektron hat die Ladung $-e$) und h das Planck'sche Wirkungsquantum ist. Dieses verblüffende Phänomen ist in der Figur für zwei Nanodrähte mit verschiedenen Querschnittsformen illustriert, einer kreisförmigen und einer quadratischen. Dabei ist der wesentliche Parameter das Verhältnis von Querschnittsfläche und dem Quadrat der so genannten Fermi-Wellenlänge λ_F , welche die Wellenfunktionen charakterisiert, die zum Strom beitragen. Bei einem Kreiszyylinder hängen die

Stufen mit den Nullstellen der Bessel-Funktionen zusammen, welche schon seit dem frühen 19. Jahrhundert bekannt sind. Für den quadratischen Querschnitt ist die Konduktanz (in Einheiten von $2e^2/h$) durch die Zahl der Punkte eines Quadratgitters (mit Gitterkonstante l) gegeben, welche innerhalb eines Kreises mit Radius \sqrt{S}/λ_F liegen. Das ergibt im Mittel die Zahl $\pi S/\lambda_F^2$, welche der gestrichelten Linie in der Figur entspricht. Die Wellenlänge λ_F ist von Metall zu Metall verschieden, liegt aber typischerweise in der Gegend von 50 Nanometern. Um die Stufen in der Konduktanz aufzulösen, müssen also Nanodrähte oder mindestens Nanokontakte hergestellt werden. Die Abhängigkeit der Konduktanz von der Geometrie des Querschnitts erinnert an den berühmten Spruch des Mathematikers Marc Katz: «Kann man die Form einer Trommel hören?»¹ Analog dazu könnten wir fragen, inwiefern es uns die Stufenfolge der Konduktanz erlaubt, den Querschnitt des gemessenen Drahtes zu rekonstruieren.

Universell gültige Quantisierung ?

Der experimentelle Nachweis der Quantisierung der Konduktanz (in Einheiten von $2e^2/h$) gelang vor etwa 20 Jahren an künstlich hergestellten Halbleiterstrukturen, in denen der elektrische Strom durch eine winzige Öffnung von etwa 250 Nanometern Breite gezwängt wird. Es zeigte sich bald, dass der Effekt viel robuster ist als ursprünglich angenommen und zum Beispiel auch beim periodischen Kontaktieren von zwei (makroskopischen) Metalldrähten beobachtet werden kann, bei denen kurz vor Abbrechen des Kontakts eine Nanobrücke die letzten Elektronen durchlässt. Nanokontakte, die mit Hilfe eines Rastertunnelmikroskops gebildet werden, bestätigen: Die elektrische Konduktanz ist in

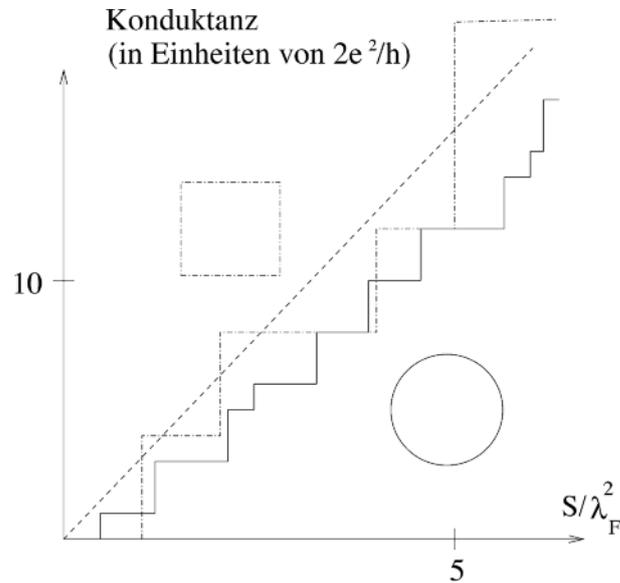
Dionys Baeriswyl ist ordentlicher Professor am Departement für Physik.
dionys.baeriswyl@unifr.ch

Einheiten von $2e^2/h$ quantisiert, unabhängig vom verwendeten Material.

Der elektrische Widerstand eines Metalls hängt generell empfindlich von einer Reihe von Parametern ab. Aluminium hat einen andern spezifischen Widerstand als Kupfer oder Gold, und es macht einen grossen Unterschied, ob eine Messung bei Zimmertemperatur oder der Temperatur des flüssigen Stickstoffs durchgeführt wird (für Aluminium ist dieser Unterschied mehr als ein Faktor 10). Die Qualität eines Materials (wenig Gitterdefekte, wenig Verunreinigungen) ist ausschlaggebend für eine hohe Leitfähigkeit. Wie kann es dann sein, dass im nanoskopischen Bereich diese Unterschiede irrelevant werden? Zwei Umstände sind ausschlaggebend für diese Art von Universalität: Zum einen handelt es sich um ballistische Kontakte, bei denen auf der Längenskala des Drahtes (oder der Nanobrücke) Streuprozesse (aufgrund von Defekten, Verunreinigungen oder thermischen Fluktuationen) keine Rolle spielen. Zum andern heben sich zwei wichtige materialabhängige Faktoren gerade weg, nämlich die (Gruppen-)Geschwindigkeit v der Ladungsträger und deren Zahl (diese ist proportional zur Zustandsdichte und damit umgekehrt proportional zu v). Dennoch kann hier von echter Universalität nicht die Rede sein. Der Nanodraht geht beidseitig über in makroskopische Elektroden und dieser Übergang trägt zum Widerstand bei. Zudem haben sorgfältige Experimente gezeigt, dass die erste Stufe eine zusätzliche Struktur bei etwa 0.7 ihres Sollwerts hat, welche bis heute nicht richtig verstanden ist.

Proportional zum Magnetfeld

Echte Universalität findet sich hingegen beim so genannten Quanten-Hall-Effekt. Die Grenzschicht zwischen zwei verschiedenen Halbleitern, zum Beispiel Gallium-Arsenid und Gallium-Aluminium-Arsenid, lässt sich so herrichten, dass Elektronen sich darin frei bewegen und somit ein elektrischer Strom parallel zur Schicht erzeugt werden kann. Ein senkrecht zur Schicht angelegtes Magnetfeld bringt die Elektronen aufgrund der Lorentzkraft von ihrem geraden Weg ab, so dass Ladung an den rechten und linken Rändern akkumuliert wird und zwar so lange, bis das dadurch erzeugte elektrische Feld die Lorentzkraft des Magnetfeldes kompensiert. Aus ein-



fachen klassischen Überlegungen folgt dann, dass dieses elektrische Feld, das «Hall-Feld», bei vorgegebenem Strom proportional zum Magnetfeld wächst. Dies wird durch Messungen bestätigt. Für sehr starke Magnetfelder, tiefe Temperaturen und nahezu perfekte Halbleiterstrukturen zeigt sich aber, dass das Verhältnis von Hall-Feld und Stromdichte nicht einfach linear mit dem Magnetfeld wächst, sondern in Stufen, welche einem Vielfachen von e^2/h entsprechen.

Diese Stufen sind in der Tat universell, d. h. unabhängig vom gewählten Material und von den Parametern der Halbleiterstruktur. Der Wert der ersten Stufe ist heute so genau bekannt (die relative Unsicherheit liegt bei 1×10^{-9}), dass die Grösse h/e^2 , das Widerstandsquantum, generell als Messstandard verwendet wird (mit der Festlegung $h/e^2 = 25812.807 \text{ Ohm}$). Es sei hinzugefügt, dass auch innerhalb der Stufen des Quanten-Hall-Effekts zusätzliche Strukturen auftreten. Diese können mit Hilfe einer ausgeklügelten Theorie verstanden werden, welche die Wechselwirkung zwischen den Elektronen voll berücksichtigt. ■

¹ Diese Frage ist heute geklärt; es lässt sich aus den Eigenfrequenzen der Trommel nicht eindeutig auf ihre Form schliessen.

L'Irak vidé de ses chrétiens ?

Dans le prolongement de sa prise de position en faveur des droits des minorités ethniques et religieuses en Irak, la Faculté de théologie de l'Université de Fribourg a invité Mgr Louis Sako, évêque chaldéen de Kirkuk. Le prélat fait part à Universitas de ses inquiétudes sur le sort de sa communauté en Irak.

par Samuel Jodry

uni actuel

Universitas : Quel est le quotidien du chrétien irakien ?

Mgr Louis Sako : Le manque de sécurité est général, particulièrement dans les deux grandes villes de Bagdad et Mossoul. Pensez à l'assassinat en mars dernier de Mgr Paulos Faraj Rahho, archevêque chaldéen de Mossoul. Beaucoup de chrétiens ont fui ces villes pour se réfugier dans le Kurdistan, au nord de l'Irak. Mais si cette région est plus sûre, il n'y a pas de travail, de services publics et d'écoles, et les chrétiens seront poussés, comme tant d'autres avant eux, à quitter l'Irak. Cette immigration est une déchirure, parce que, si rien n'est fait, ce sera la fin de l'Eglise chaldéenne d'Irak, et une Eglise de diaspora n'est plus une Eglise.

La situation des chrétiens d'Irak s'est-elle dégradée depuis l'invasion américaine ?

Musulmans ou chrétiens, les Irakiens attendaient beaucoup des Américains, surtout après la dictature et les douze années de sanctions onusiennes : libertés nouvelles, travail, prospérité... Mais l'anarchie s'est installée, et le vide politique a suscité l'appétit des représentants de partis politiques arrivés dans les bagages des troupes américaines, et entraîné les actes meurtriers de membres de l'ancien régime et de criminels. Leurs agissements me donnent à croire que tout le monde s'est mis d'accord pour détruire l'Irak et l'être irakien.

Qui sont vos agresseurs ?

Les attaques que nous subissons ont trois origines différentes. La première est bien sûr l'argent versé pour libérer les membres de notre Eglise, victimes de rapt. Viennent ensuite les fanatiques musulmans qui nous accusent d'incarner, à travers le christianisme, l'Occident et naturellement les Américains, «en croisade contre l'Islam». Enfin, il y a ceux, parmi nos

concitoyens, qui nous prennent à parti parce qu'ils ne savent pas qui nous sommes et ce que nous représentons.

Pourquoi ne pas le leur expliquer ?

Le problème est que le cas irakien ne peut être examiné isolément. L'Iran, la Syrie, les Américains, ... tous s'expriment ou interviennent en Irak, et tous veulent une part du gâteau. Mais la solution doit venir de l'intérieur, des seuls Irakiens. Quant à notre communauté religieuse, il est vrai qu'une déclaration officielle, par exemple sur l'unité à reconstruire de l'Irak, répondrait à bien des questions. Mais les obstacles à cette déclaration sont nombreux, à commencer par le danger de se réunir. Et je n'oublie pas les Etats voisins qui voient une menace dans l'avènement d'un Irak libre, uni et démocratique.

Que peut vous apporter la prise de position de la Faculté de théologie de l'Université de Fribourg en faveur des droits des minorités ethniques et religieuses en Irak ?

Cet engagement revêt un caractère matériel, concret. C'est du moins ce que nous espérons. Par exemple à travers l'échange de professeurs et de publications, soit la mise en place d'une véritable collaboration académique. La création de bourses destinées aux étudiants pourrait aussi être envisagée. Mais la décision de la Faculté de théologie représente avant tout une marque de solidarité, et une prise de conscience, celle de l'existence des chrétiens d'Orient et de la richesse de leurs traditions et de leur héritage liturgique. Si nous autres, chrétiens d'Orient, disparaissions, ce patrimoine disparaîtra aussi. Etre ou ne plus être... ■

Impressum ■

Le magazine de l'Université de Fribourg
Das Magazin der Universität Freiburg

Nouvelles universitaires vol. 66/4

Rédaction : Communication & Marketing
Université de Fribourg
Av. de l'Europe 20, 1700 Fribourg
tél. 026 300 70 34
fax 026 300 97 03
e-mail: marcom@unifr.ch

Responsable : Laure Schönenberger
Rédaction : Samuel Jodry, Claudia Möri
Secrétariat : Antonia Rodriguez,
Denise Torche

Layout : Jean-Daniel Sauterel
Couverture : Jean-Daniel Sauterel

Publicité : Go!Uni-Werbung AG,
Rosenheimstrasse 12, CH-9008 St. Gallen
Tel. 071 244 10 10
Fax 071 244 14 14
e-mail : info@gouni.ch

Tirage : 9'000 exemplaires
Papier : couché demi matt,blanchi sans chlore;
couverture 250 gm2, intérieur 135 gm2
Imprimerie : Saint Canisius, Fribourg

Prochaine parution : septembre 2008

Les opinions exprimées dans les articles d'Universitas ne reflètent pas forcément celles de la rédaction, mais témoignent de la multitude des directions prises par la recherche à l'Université de Fribourg.

Meinungen, welche in den Artikeln von Universitas zum Ausdruck kommen, widerspiegeln nicht automatisch die Meinungen der Redaktion. Sie bezeugen jedoch die Vielfalt der Forschungsrichtungen an der Universität Freiburg.

Un Précis pour une didactique en construction

Ouvrage collectif né d'un projet de recherche international et interdisciplinaire à des fins éditoriales, le Précis du plurilinguisme et du pluriculturalisme a réuni, entre 2003 et 2007, plus de 90 chercheurs représentant une quarantaine de pays.

par Aline Gohard

lecture

Si la langue de travail et de communication du Précis a été le français, d'autres langues ont été utilisées dans les études de cas. L'ouvrage se situe donc dans le champ de la didactique des langues et des cultures étrangères, un champ en pleine évolution qui intègre de plus en plus les usages sociaux et identitaires des langues participant à l'apprentissage et à l'enseignement des langues et cultures. Cet ouvrage collectif a questionné les enjeux sociolinguistiques et sociopolitiques, ainsi que les enjeux pédagogiques et didactiques qui leur sont étroitement liés. Pour la réalisation de ce projet international de recherche, les chercheurs ont exploré d'une part les contextes et situations de cohabitation et de mobilité, et les logiques des institutions avec leurs choix politiques et leurs dispositifs éducatifs, leurs discours et leurs pratiques, et, d'autre part, les logiques des individus avec leurs parcours et biographies, leurs appartenances et valeurs, leurs enjeux et motifs. Ils ont tenté de cerner les multiples processus en jeu et les transformations identitaires que chaque acteur social peut vivre dans l'apprentissage des langues et la découverte des cultures – lieux par excellence d'interrogations sur son rapport à l'autre et à soi.

Lieu de contacts et de débats ?

L'objet de cet ouvrage est de rendre accessible la complexité d'un domaine bâti autour de la pluralité linguistique et culturelle – mais aussi autour de la pluralité de traditions académiques et scientifiques – et participe donc à la construction d'une didactique du plurilinguisme et du pluriculturalisme encore en chantier. Il fait le point sur la diversité des conceptions didactiques, confronte des éclairages scientifiques différents, met en lumière les déplacements conceptuels et méthodologiques, ceci dans une perspective diachro-

nique et synchronique, et selon une approche interdisciplinaire. Mais le Précis est également un lieu de contacts et de débats entre des chercheurs qui, par delà leurs disciplines ou les langues dans lesquelles ils travaillent, contribue au renouvellement des problématiques et des références circulant dans le champ de la didactique des langues et cultures étrangères. Un site web, conçu et dirigé par le Prof. Rick Kern, directeur du Foreign Language Centre à l'Université nationale de Berkeley, permet de continuer le dialogue et de maintenir les échanges scientifiques entre chercheurs, marquant ainsi la volonté de nouer – en le repensant sans cesse – le lien interculturel.

Large public-cible

Cet ouvrage s'adresse à tous les spécialistes des langues et cultures, du bilinguisme (en immersion) et du plurilinguisme, aux responsables de services de politiques linguistiques ou migratoires, aux concepteurs de curricula et de méthodes d'enseignement, aux professeurs, chercheurs, (futurs) enseignants de langue et d'autres disciplines dans le système public et privé, aux conseillers pédagogiques, aux attachés linguistiques à l'étranger, aux formateurs et médiateurs interculturels dans les entreprises internationales, et dans les organisations internationales gouvernementales et non gouvernementales, et aux formateurs en langues et interprètes médiateurs culturels dans les milieux de la migration (adultes et élèves dans les classes d'accueil, classes d'appui). Et la liste n'est pas close.

Pluri-plumes

Pour prendre part à ce projet, un Groupe de Recherche Fribourg-Neuchâtel a été constitué par la Prof. Aline Gohard-Radenkovic, avec les collaboratrices scientifiques Patricia

Aline Gohard est professeure associée au Département du plurilinguisme et des langues étrangères. aline.gohard@unifr.ch



Kohler et Paola Gilardi, les Profs Tania Ogay et Marc-Henry Soulet (Fribourg), les Dres Claudine Brohy et Patchareerat Yanaprasart (Fribourg et Neuchâtel) et le Prof. émérite Bernard Py (Neuchâtel). Nous avons intégré dans l'équipe des chercheurs étrangers : les Drs Mauro Perissini (Ottawa), Anna Triantaphyllou (Athènes) et Isabelle Lallemand (Inalco, Paris), et les Profs Brigitte Perez (Lille III), Bernard Fernandez (Lyon et Shangai), Valerio Massimo de Vangelis (Macerata) et George Alao (Inalco, Paris). Soit 16 auteurs au total. Le Groupe de Recherche Fribourg-Neuchâtel a largement contribué au Précis en rédigeant le chapitre 3, « Mobilités et parcours » (pp.126-170), que la Prof. Elizabeth Murphy-Lejeune (St Patrick's College, Dublin) et la Prof. Aline Gohard-Radenkovic ont co-conçu et co-organisé. Ce projet à des fins éditoriales a été soutenu, de 2003 à 2005, par le Fonds pour la recherche de l'Université de Fribourg, ainsi que par l'Académie suisse des sciences humaines et sociales et l'IRDP de Neuchâtel, pour financer notamment les rencontres ponctuelles et les colloques internationaux à l'étranger liés au projet. Un soutien a été également trouvé auprès du Rectorat et du Service des relations internationales de

l'Université de Fribourg, de la ville et du canton de Fribourg, ainsi qu'auprès des Ambassades du Canada et de France en Suisse, cela quand avaient été organisées les Journées d'études du 15 au 17 février 2007 à l'Alma mater. Un remerciement sincère est adressé à tous les organismes et personnes qui ont soutenu les auteurs et permis ainsi de mener à bien ce projet et sa publication. ■

Précis du plurilinguisme et du pluriculturalisme, Editions des Archives contemporaines, Paris, 2008, édité sous la direction de Geneviève Zarate (Inalco, Paris), Danièle Lévy (Macerata, Italie) et Claire Kramsch (Berkeley, USA).
 Informations : www.eacgb.net, info@eacgb.com.
 Commandes groupées : Service J.VRIN - distribution: anne.deschamps@eacgb.com; py.cosmao@eacgb.com
 Diffusion en Suisse : librairies Payot Lausanne



Ein interfakultäres Zentrum für Europastudien

Dank der finanziellen Unterstützung durch das Ehepaar Merkle sowie die Unternehmen Liebherr und Richemont konnte die Universität Freiburg im Mai das Zentrum für Europastudien gründen, das von vier Fakultäten der Universität getragen wird.

von Dirk Morschett

Mit einem Festakt im Rahmen des Europatages der Universität Freiburg wurde im Mai das Zentrum für Europastudien gegründet, das dank bedeutender privater Schenkungen möglich wurde. Die Schenkung des Freiburger Ehepaars Dr. Adolphe und Simone Merkle ermöglicht die Einrichtung einer neuen Professur in Geschichte der Europäischen Integration, während mit der finanziellen Unterstützung der beiden im Kanton Freiburg ansässigen multinationalen Unternehmen Liebherr und Richemont ein Lehrstuhl für internationales Management aufgebaut werden konnte. Diese beiden Lehrstühle bilden den Kern des neuen Zentrums.

Der Prozess der Europäischen Integration ist seit mehr als 60 Jahren die Basis für politische Stabilität und anhaltendes wirtschaftliches Wachstum. Die Auswirkungen dieser Integration auf politischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und kultureller Ebene sind für alle europäischen Länder enorm. Europa als einer der grössten Binnenmärkte der Welt ist zugleich politisch und ausserwirtschaftlich sehr eng mit vielen Partnern weltweit verflochten. Die Schweiz im Herzen Europas ist ein integrativer Bestandteil dieser Region und ihre Beziehungen zu den europäischen Nachbarn sind äusserst intensiv.

Der Einfluss Europas auf das Arbeitsumfeld von Universitätsabsolvierenden ist in allen Branchen zu spüren. Um innerhalb dieses Rahmens erfolgreich agieren zu können, müssen Hochschulabsolvierenden neben ihren fachlichen und sozialen Fähigkeiten verstärkt auch auf Europa bezogenes spezifisches Wissen sowie ein tief greifendes Verständnis der Zusammenhänge auf wirtschaftlicher, gesellschaftlicher, historischer und kultureller Ebene aufweisen. Wegen der hohen Bedeutung Europas in der Welt gilt dies nicht nur für Studierende aus der Schweiz, sondern immer

stärker auch für Studierende aus dem europäischen und aussereuropäischen Ausland.

Das neue Zentrum für Europastudien

Die Universität Freiburg mit ihrer Brückenfunktion zwischen zwei wichtigen europäischen Kulturräumen räumt dem Thema Europa traditionell einen hohen Stellenwert ein. Dies zeigt sich unter anderem durch das seit langem bestehende Institut für Europarecht sowie das Institut für Ost- und Ostmitteleuropa. Die Universität versteht sich als interkulturelles Kompetenzzentrum und eignet sich in besonderer Art und Weise für die Bereitstellung von Lehrangeboten und Forschungsaktivitäten mit explizitem Bezug zu Europa.

Mit der Gründung des Zentrums für Europastudien soll die Europakompetenz stärker gebündelt und weiter entwickelt werden. Das interfakultäre Zentrum wird von der philosophischen, der wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen, der rechtswissenschaftlichen und der theologischen Fakultät der Universität getragen; den Kern bilden die beiden neuen Professuren, die in der wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Fakultät bzw. der philosophischen Fakultät verankert sind. Der Sitz des Zentrums ist das Gebäude Pérolles 2.

Zielsetzung des Zentrums ist es, Europa spezifisches Wissen auf der Basis wissenschaftlicher Forschung sowie durch einen intensiven Dialog mit Praktikern zu generieren und dieses Wissen an Studierende, aber auch an andere interessierte Personen und Organisationen weiter zu geben. Als interfakultäres Kompetenzzentrum wird es interdisziplinäre Forschungsprojekte realisieren und zugleich interdisziplinäre Lehrangebote bereitstellen. Mit seiner explizit internationalen Ausrichtung wird es die Zusammenarbeit mit internationalen Organi-

projet

Dirk Morschett ist ordentlicher Professor am Departement für Betriebswirtschaftslehre.
dirk.morschett@unifr.ch

sationen sowie spezialisierten Forschungsinstitutionen vor allem im europäischen Kontext pflegen. Im Bereich der Europa spezifischen Studien werden zunächst zwei Studiengänge angeboten, ein Master in «European Business» sowie ein Master in «European Studies».

Master in European Business

Das englischsprachige betriebswirtschaftliche Masterprogramm «European Business», das seit dem Herbstsemester 2007 angeboten wird, beschäftigt sich mit Fragestellungen des internationalen Managements, insbesondere mit der Unternehmenstätigkeit in europäischen Märkten. Die Studierenden stammen bereits heute, im ersten Jahr des Programms, aus mehr als zehn verschiedenen Ländern.

Ziel des Studiums ist es, die Studierenden für anspruchsvolle Aufgaben in europaweit tätigen Unternehmen sowie Nonprofit-Organisationen zu qualifizieren. Neben der vertieften Kenntnis der europäischen Rahmenbedingungen werden den Studierenden Methoden, Konzepte und Instrumente vermittelt, die notwendig sind, um in internationalen tätigen Organisationen erfolgreich zu agieren. Dazu gehören neben dem Fachwissen auch die Entwicklung notwendiger weicher Faktoren sowie der Aufbau interkultureller Kompetenz. Der Studiengang, der primär Studierende mit einem Bachelorabschluss mit wirtschaftswissenschaftlicher Ausrichtung anspricht, ist das erste ausschliesslich englischsprachige Masterprogramm der Universität. Neben dem breiten Angebot an Vorlesungen im Bereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften können die Studierenden auch Vorlesungen an anderen Fakultäten besuchen. Zudem bearbeiten die Studierenden in interkulturell zusammengesetzten Arbeitsgruppen Unternehmensfallstudien, es werden Exkursionen zu Unternehmen sowie internationalen Institutionen organisiert und Manager aus multinationalen Unternehmen besuchen die Universität für Gastvorträge.

Master of Arts in Europastudien

Der Master «Europastudien», wird im Herbstsemester 2008 erstmals angeboten und richtet sich in erster Linie an Studierende mit einem geistes-, sozial- und kulturwissenschaftlichen Hintergrund.

Ziel des Studiums ist der Erwerb eines breiten, auf Europa bezogenen Allgemeinwissens mit den Schwerpunkten Kultur, Geschichte und Politik. Die Verknüpfung dieser historisch und theoretisch fundierten Kenntnisse mit aktuellen betriebs- und volkswirtschaftlichen sowie gesellschaftlichen Fragestellungen, die Teilnahme an Exkursionen in die Zentren der europäischen Verwaltung und zwei- bzw. drei-

**Gründung des Zentrums für Europastudien
der Universität Freiburg**

**Inauguration du Centre d'études européennes
de l'Université de Fribourg**

Staatssekretär Michael Ambühl:
« Perspektiven und Herausforderungen
der Integration der Schweiz in Europa »

33^{ème} Europatag der
Universität Freiburg
Journée de l'Europe
de l'Université de Fribourg

Freitag, 16. Mai 2008, 17.00 Uhr
Auditorium «Joseph Deiss»
Universität Péroilles 2, Freiburg

Vendredi, 16 mai 2008, 17 h 00
Auditoire «Joseph Deiss»
Université Péroilles 2, Fribourg

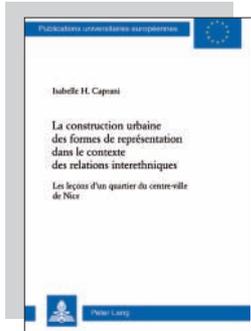
UNIVERSITAS
FRIBURGENSIS

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG / UNIVERSITÄT FREIBURG

sprachiger Unterricht in französischer, deutscher und teilweise auch englischer Sprache sollen praktische Kompetenzen vermitteln, die auf Tätigkeiten in Bereichen wie Medien, Kulturinstitute, Verbände oder internationale Organisationen vorbereiten.

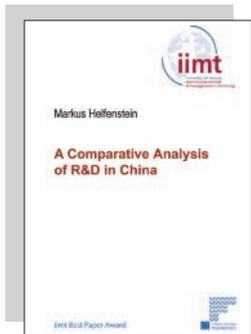
Der Studiengang umfasst die zwei für alle Studierenden obligatorischen Basismodule «Geschichte der europäischen Integration» und «Europa heute: rechtliche, politische, ökonomische und kulturelle Herausforderungen». Darüber hinaus haben die Studierenden die Wahl zwischen verschiedenen vertiefenden Optionen, die sich auf gesellschaftliche und zeitgeschichtliche Aspekte Europas beziehen, so z.B. wirtschaftliche oder rechtliche Fragestellungen, und kulturelle Fragen wie z.B. Literatur, Philosophie oder Kunstgeschichte. ■

Weitere Informationen zu den beiden Studiengängen unter www.unifr.ch/intman (European Business) und www.unifr.ch/etudeurope (European Studies).



Isabelle Caprani «Construction urbaine»

Comment définir la spécificité d'un espace urbain situé en centre-ville à travers sa dynamique sociale et interethnique ? Telle est la question qui nourrit cet ouvrage. Sa particularité est de définir une démarche alliant deux disciplines, la géographie et la sociologie. Cet ouvrage se penche sur la façon de relever les différentes formes et manifestations ethniques, mais également de comprendre la manière dont est vécue cette socialité, tout en tenant compte du contexte urbain dans lequel elles se situent. Pour aborder ces thématiques de recherche, une étude fondée sur le principe de la représentation et les images à travers lesquelles elles se produisent et se manifestent a été privilégiée. Cette recherche porte ainsi sur une analyse dynamique du phénomène interethnique, l'inscrivant dans le courant constructiviste où il s'agit notamment de prendre en considération à la fois l'analyse du chercheur et la réalité objective et subjective du vécu des différents acteurs urbains. C'est justement l'association de ces deux approches qui permettra de définir un quartier urbain.



Dr. Markus Helfenstein «A comparative analysis of R&D in China»

China ist nicht nur der Workshop der Welt und der wichtigste Wachstumsmarkt weltweit, China lockt auch mit seinem grossen Pool an Ingenieuren und rasant wachsenden Research & Development Kapazitäten. In seiner als Best Paper prämierten EMBA Abschlussarbeit analysiert Herr Dr. Helfenstein R&D Aktivitäten ausländischer Firmen in China. Dabei fliessen insbesondere die Ergebnisse zweier empirischer Untersuchungen, verschiedener Interviews, Literaturvergleiche und Informationen aus einem Chinesischen NXP Forschungsprojekt in Shanghai, welches von Zürich aus geleitet wird, ein. Als Ergebnis seiner detaillierten Analyse der verschiedenen R&D relevanten Faktoren synthetisiert der Autor einen Satz von Key Performance Indicators (KPI). Diese KPI, dargestellt in Form von EFQM toolbox cards (qualitative Indikatoren) oder Kiviat/Spiderweb Graphs (quantitative Indikatoren), bilden eine Entscheidungsgrundlage sowie einen Satz Früherkennungsindikatoren für Firmen, die eine R&D Strategie in China verfolgen.



Mariano Delgado, David Neuhold «Politik aus christlicher Verantwortung»

In den Beiträgen dieses Bandes wird der Aspekt der christlichen Verantwortung in der Politik in den Mittelpunkt gestellt und umfassend beleuchtet. Ein Ländervergleich der Alpenrepubliken Schweiz und Österreich bringt diese Fragestellung in praktische Zusammenhänge. Zahlreiche namhafte Persönlichkeiten der beiden Länder bringen dazu wissenschaftliche Beiträge aus den Bereichen der Zeitgeschichte, der (Religions-)Soziologie und der (katholischen) Sozialethik wie auch aus jenen der Kommunikationswissenschaften und der Politologie ein. Die interdisziplinäre Herangehensweise an diese interessante und vielschichtige Materie sowie der konkrete Ländervergleich schaffen einen einmaligen Praxisbezug, der einen umfassenden und tief gehenden Blick auf das Thema der KatholikInnen in der politischen Öffentlichkeit erlaubt. Mit Beiträgen von Urs Altermatt, Thomas Bauer, Mariano Delgado, Alfred Dubach, Ivo Fürer, Ingeborg G. Gabriel, Hans Halter, Ernst Hanisch, Wolfgang Mantl, Franziska Metzger, David Neuhold, Leopold Neuhold, Josef Riegler, Urs Schwaller und Rolf Weibel.



Joachim Trebbe, Gergana Baeva, Bertil Schwotzer, Steffen Kolb und Harald Kust «Fernsehprogramm»

Fernsehen soll informieren, bilden und unterhalten. So schreibt es jedenfalls das Radio- und Fernsehgesetz der Schweiz (RTVG) vor. Wie aber kommen die verschiedenen Programme der SRG SSR idée suisse und die privaten Anbieter diesem Programmauftrag nach? Wie diese Frage systematisch und zuverlässig untersucht werden kann, steht im Zentrum dieser Studie des Fachbereichs Medien- und Kommunikationswissenschaft der Universität Freiburg. Für eine kommunikationswissenschaftliche Inhaltsanalyse der SRG-Programme der Deutschschweiz (SF 1 und SF zwei), der Westschweiz (TSR 1 und 2) und der italienischsprachigen Schweiz (TSI 1 und 2) sowie des privaten deutschsprachigen Programms 3+ wurden insgesamt 1176 Stunden Fernsehen aufgezeichnet und in einem mehrstufigen Verfahren untersucht. Die Entwicklung des Untersuchungsinstrumentes für diese Analyse hat Pilotcharakter für die langfristige Fernsehprogrammforschung im Auftrag des Bundesamtes für Kommunikation (BAKOM).