

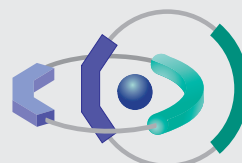
Sonderheft zu Vision
(Oktober 2001)

NFP

«Supramolekulare funktionale Materialien»



National Research Programme



Supramolecular Functional Materials

 *vision*

Das Schweizer Magazin für Wissenschaft und Innovation

Nutzen Sie das Leben !



Sichern Sie sich einen Anteil an einer der grossen Reichtumsquellen des dritten Jahrtausends. Der Life Sciences Fund, der weltweit in Aktien anlegt, erlaubt Ihnen, dauerhaft zu profitieren vom Wachstum einer Zukunftsbranche: den Life Sciences.

Hinter dem avantgardistischen, zukunftsorientierten Konzept des Life Sciences Funds steht eine glückliche Verbindung : die zweihundertjährige Erfahrung von Lombard Odier, gepaart mit der Beratertätigkeit eines Stabes hochqualifizierter wissenschaftlicher Spezialisten und renommierter Industrieller.

Branchen / Aktien / Weltweit / Basiswährung EUR
Valorennummer **000 812 274**

Designing Advanced Financial Concepts



Inhalt

Das Forschungsgebiet

- Was sind supramolekulare funktionale Materialien? 2

Das ökonomische Umfeld

- Hochschulforschung und Industrie 5

Modul I

- François Diederich: Supramolekularer Kran 6
- Peter Günther: Filme für die Kommunikation 8
- Andreas Hauser, Silvio Decurtins, Thomas Ward: Metastabile Zustände 10
- Jürg Hulliger: Polare Kristalle 12
- Beat Keller: Mechanochromismus 14
- Wolfgang Meier: Molekulares Trojanisches Pferd 16
- Reinhard Nesper: Supramolekulare Bausteine 18
- Claude Piguet: Lanthanide und Flüssigkristalle 20

Modul II

- Peter Belser: Moleküle zum Ein- und Ausschalten 22
- Gion Calzaferri: Antennensysteme für Lichtenergie 24
- Robert Deschenaux: Komplexe Moleküle, verschworene Gemeinschaften 26
- Bernd Giese: DNS – das Silizium der Zukunft 28
- Hans-Joachim Güntherodt: Zwischen Chemie und Physik 30
- Titus Jenny: Supramolekulare Säulen 32
- Stefan Matile: Nanofässchen 34

Modul III

- Claus Duschl: Nanokristalle und Biomoleküle 36
- Michael Grätzel: Supramolekular vs. makroskopisch 38
- Werner Nau: Supramolekulare Kinetik 40
- Nicholas Spencer, Marcus Textor: Aufnahme von Proteinen 42
- Horst Vogel: Sprache der Zellen 44

Modul IV

- Hans-Ulrich Güdel: Kleinste Einzelmagnete 46

- Adressen 49

Zum Geleit



Liebe Leserin, Lieber Leser

Die Entwicklung neuer Materialien setzt ein solides Fundament in der Grundlagenforschung voraus. Dabei liegt oft ein langer und hürdenreicher Weg zwischen den Ergebnissen der freien Forschung und dem marktreifen Produkt. Das vom Schweizerischen Nationalfonds getragene Nationale Forschungsprogramm «Supramolekulare Funktionale Materialien» will einige dieser Hürden abbauen, indem es eine Reihe in der Grundlagenforschung verwurzelter Projekte bündelt und so in ihrem Anwendungspotenzial verstärkt.

Mit zielgerichteter chemischer Synthese, oft auch von Biomolekülen inspiriert, werden komplexere, supramolekulare Gebilde aufgebaut, die als molekulare Maschinen, Detektoren oder Transportsysteme von der molekularen Dimension direkt in die Nanowelt führen. In der vorliegenden Sondernummer von *Vision* werden die verschiedenen Projekte mit ihren Beziehungen zu Physik, Biologie und Technik vorgestellt, für Wirtschaft und Öffentlichkeit wird ein Schaufenster mit den Inhalten und der Stossrichtung dieser Forschung präsentiert. Leserinnen und Leser sind eingeladen, einen Blick in die beteiligten chemischen Laboratorien zu werfen und die Faszination von Forschung und Anwendungspotenzial der supramolekularen Chemie zu erleben.

Andreas Ludi, Präsident der Leitungsgruppe des NFP 47

Vision – Das Schweizer Magazin für Wissenschaft und Innovation. Erscheint 4-mal jährlich in deutscher und französischer Ausgabe.
Copyright © Science Com AG, Bern.
ISSN 1420-2468 (*Vision* – Deutsche Ausgabe).
Auflage deutsch und französisch insgesamt: 20 000 Expl.
Redaktion, Anzeigen und Abonnementsverwaltung:
Science Com AG, Thunstrasse 7, 3005 Bern
Tel. +41 31 356 53 53, Fax +41 31 356 53 50
vision@sciencecom.ch, www.swiss-science.org
Redaktion dieser Beilage: Urs Aeberhard, Almut Bonhage, Matthieu Buchs, Philippe Gagnebin, Yves Bertrand.
Französische Ausgabe (Übersetzungen):
Jean-Jacques Daetwyler, Bern,
Adapta traductions, Genf.
Deutsche Ausgabe (Übersetzungen):
Adapta traductions, Genf.

Gestaltung, Druck & Versand:
Benteli Hallwag Druck AG, 3084 Wabern-Bern.

Dieses Sonderheft entstand in Zusammenarbeit und mit der Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds.
Auflage deutsch und französisch insgesamt: 4400.

Quellen des Bildmaterials:
Der Grossteil der Illustrationen wurde uns von den Leitern der einzelnen Projekte zur Verfügung gestellt.
S. 5: Ciba SC, Basel – S. 11: Vital Gold, Ostermündigen – S. 17: Hans-Ruedi Bramaz, Fotograf, Zürich.

Zum Titelbild: Supramolekulare Struktur, die die geordnete Ausrichtung von drei lumineszierenden Kationen erlaubt (Bild: Claude Piguet).
Hintergrund: Textur eines Flüssigkristalls durch Mikroskopie mit polarisiertem Licht betrachtet (Bild: Robert Deschenaux).



Supramolekulare funktionale Materialien

Das Nationale Forschungsprogramm «Supramolekulare funktionale Materialien» wurde im Rahmen der achten NFP-Serie vom Bundesrat bewilligt. Die Verantwortlichen bemühten sich, einen sachlich richtigen, treffenden und verständlichen Titel zu finden. Es war jedoch schwierig, sowohl einer spezifischen Fachgemeinschaft als auch der interessierten Öffentlichkeit gerecht zu werden.

VON DR. MARCEL MAYOR*, WISSENSCHAFTLICHER BERATER DER LEITUNGSGRUPPE DES NFP 47

Von den drei Wörtern «supramolekulare funktionale Materialien» ist das erste für die Allgemeinheit sicher am wenigsten verständlich. Unter Materialien kann man sich etwas vorstellen und auch darunter, dass diese bestimmte Funktionen haben können. Das Material eines Regenmantels beispielsweise hat vorzugsweise die Funktion «wasserdicht». Es ist allerdings nicht «supramolekular» wie die neuen Materialien. «Supramolekular» scheint genau zu beschreiben, um welche Materialien und Funktionen es sich handelt. Es wird damit zum Herzstück des Titels, dem Wort, das den Inhalt des Programms am treffendsten zu erklären vermag.

Herkömmliche Moleküle haften stark...

Eine genauere Beleuchtung von «supramolekular» beginnt in der herkömmlichen Chemie. Sie befasst sich mit der Herstellung und den Eigenschaften von Molekülen. Diese beste-

hen aus verschiedenen Atomen, die nach ganz bestimmten Gesetzmässigkeiten durch kovalente Bindungen aneinander gebunden sind. Kovalent bedeutet, dass zwei benachbarte Atome sich eine gewisse Anzahl Elektronen teilen, die die Atome zusammenhalten. In chemischen Reaktionen reagieren zwei Moleküle miteinander, indem sich kovalente Bindungen lösen und neue entstehen. So entsteht mindes-



tens ein neues Molekül, das wiederum aus verschiedenen, miteinander kovalent verbundenen Atomen besteht.

...Supermoleküle nur schwach

Die Bausteine der supramolekularen Chemie sind ebenfalls Moleküle. Diese fügen sich zu grösseren Gebilden, so genannten supramolekularen Überstrukturen oder Supermolekülen zu-

sammen. Im Unterschied zur herkömmlichen Chemie gehen diese Moleküle keine neuen kovalenten Bindungen ein, sondern werden durch relativ schwach anziehende Kräfte zusammengehalten, die verschiedener Natur sein können. So ziehen sich beispielsweise Bereiche benachbarter Moleküle mit entgegengesetzter (Teil)ladung an (so genannte elektrostatische Wechselwirkungen). Oder eine elektronenreiche funktionelle Gruppe eines Moleküls bindet sich an das Wasserstoffatom einer der funktionellen Gruppen des Nachbarmoleküls, was zur Bildung einer so genannten Wasserstoffbrückenbindung führt. In vielen Situationen mögen stabile Bindungen vorzuziehen sein. Einige grundlegende Konzepte lassen sich aber nur mit schwachen, reversi-

* Marcel Mayor

1965 in Zürich geboren. Er studierte Chemie an der Universität Bern, wo er 1995 mit einer Arbeit zur supramolekularen Chemie den Doktorgrad erwarb. Während seines anschließenden Postdoc-Aufenthalts an der Universität Strassburg lernt er Prof. Jean-Marie Lehn kennen, mit dem er die folgenden Jahre zusammenarbeitet. Nach einem Aufenthalt am Collège de France befasst er sich nun mit dem Aufbau einer neuen supramolekularen Arbeitsgruppe am Institut für Nanotechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe, wo er auf dem Gebiet der molekularen Elektronik forscht. Als wissenschaftlicher Berater der Leitungsgruppe begleitet er das NFP 47.

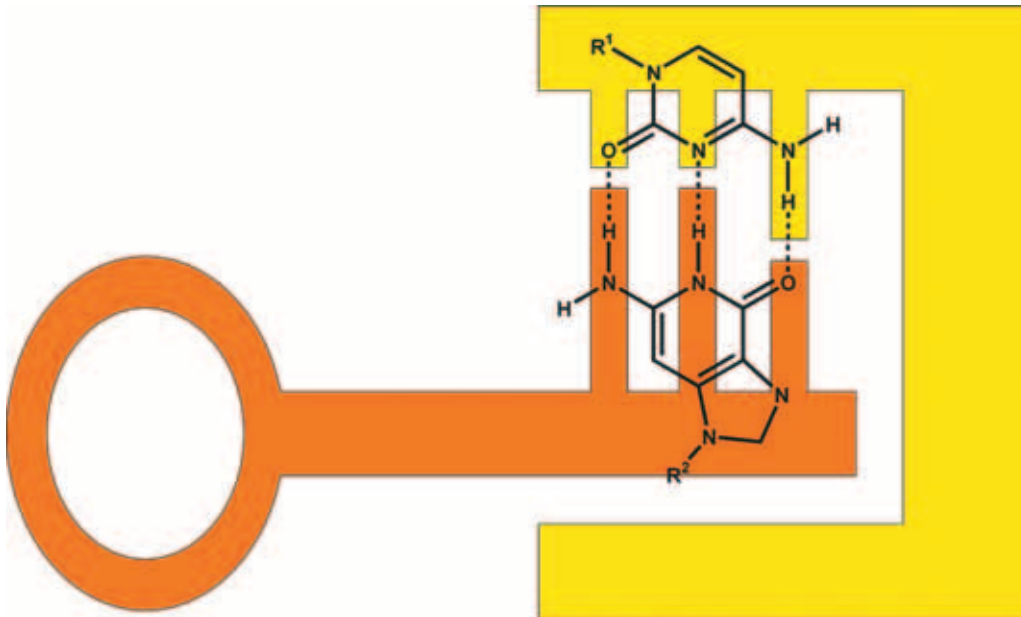


Bild 1:
Zwei durch Wasserstoffbrücken zusammengehaltene Moleküle, die wie Schlüssel und Schloss zueinander passen

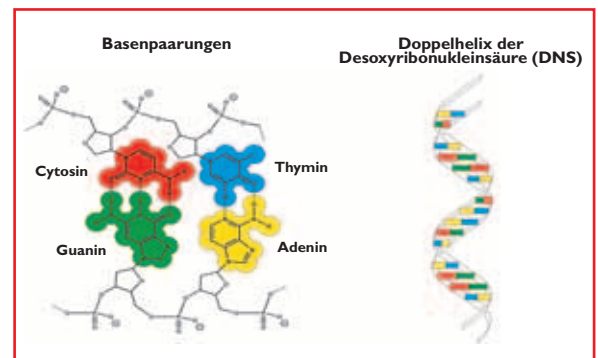
blen Bindungen realisieren. Genau diese Konzepte kommen in der supramolekularen Chemie zur Anwendung. Die «molekulare Erkennung» ist eines davon.

Wie Schloss und Schlüssel

Moleküle haben eine Form, eine Grösse und funktionelle Teilabschnitte. Diese Eigenschaften sind charakteristisch für die Moleküle einer bestimmten chemischen Verbindung. Damit zwei Moleküle eine supramolekulare Überstruktur ausbilden, müssen sie äusserlich zusammenpassen, wie Schloss und Schlüssel (Bild 1). Diese Feststellung hat Chemienobelpreisträger Emil Fischer als erster schon vor mehr als hundert Jahren gemacht.

Unmittelbar damit hängt ein weiteres Prinzip der supramolekularen Chemie zusammen, die «Selektivität». Wie man mehrere Schlüssel für ein bestimmtes Schloss ausprobieren kann, bis man den richtigen gefunden hat, kann auch ein Molekül verschiedene Bindungspartner ausprobieren, bis es sich an denjenigen bindet, zu dem es am besten passt. Die Bedeutung dieser Sachverhalte wird klar, wenn man bedenkt, dass auch das menschliche Erbgut von Molekülpaaren gespeichert, übertragen, abgelesen und umgesetzt wird, die von Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten werden (Bild 2).

Bild 2: Wasserstoffbrückenbindungen führen zu den Basenpaaren, die zwei DNS-Moleküle zu einem Doppelstrang zusammenhalten. Rechts: Die supramolekulare Überstruktur zweier zum Doppelstrang zusammengehaltener DNS-Moleküle ist helikal.



Moleküle, die sich spontan zu grösseren Strukturen zusammenlagern, werden zu interessanten Bausteinen für Materialien – man kann sie als eine Art Legosteine verstehen, die sich allerdings selber zusammenbauen und genau wissen, wo sie in der geplanten Architektur hingehören. Der Bauplan des Supermoleküls ist also bereits in seinen Bausteinen, den einzelnen Molekülen, gespeichert.

Funktionen, die nur im Verband möglich sind

Einige Moleküle haben ganz bestimmte physikalische Eigenschaften. Sie können beispielsweise Licht oder Elektronen aufnehmen und dabei ihre Farbe oder Form ändern. Diese Funktionen können beim Bauplan berücksichtigt werden. Auf diese Weise können verschiedene, von einander abhängige Funktionen in einem grösseren Objekt zusammengeführt werden. Dieses kann komplizierte Funk-

tionen übernehmen, zu denen die einzelnen Bauteile alleine nicht im Stande gewesen wären. Auch für diese Objekte sind die schwachen Bindungskräfte ein Vorteil. Im Schadensfall wird der beschädigte einzelne Baustein durch einen neuen, korrekt funktionierenden von selber ersetzt, da letzterer besser in den Bauplan passt. Diese Selbstheilung ist nur ein Beispiel der faszinierenden Vorteile, die man von supramolekularen funktionalen Materialien erhoffen kann. ■

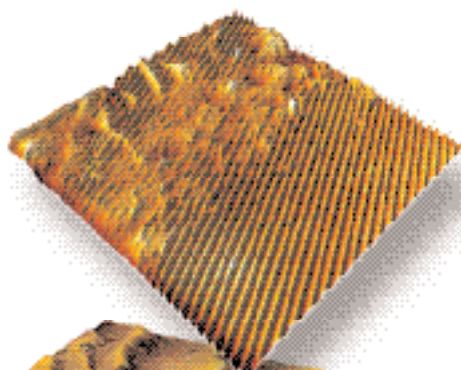
Kontakt:

Dr. Marcel Mayor, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Nanotechnologie, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe
Tel. +49 724 782 63 53
Fax +49 724 782 63 69
marcel.mayor@int.fzk.de
www.fzk.de/int

Nanometer resolution for Surface inspection

smart SPM solutions

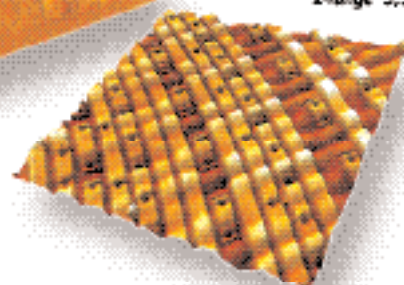
Injection molded polycarbonate with defects
scan size 50 μm z-range 200 nm



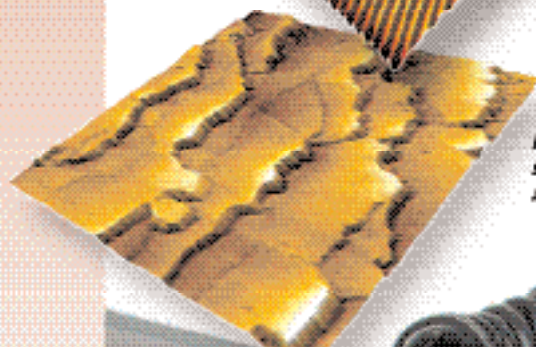
Plastic coating with defects
scan size 80 μm z-range 1,2 μm



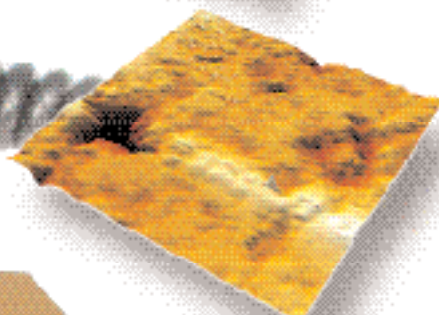
Microprocessor
scan size 85 μm
z-range 3,5 μm



Human hair
scan size 30 μm
z-range 2,5 μm



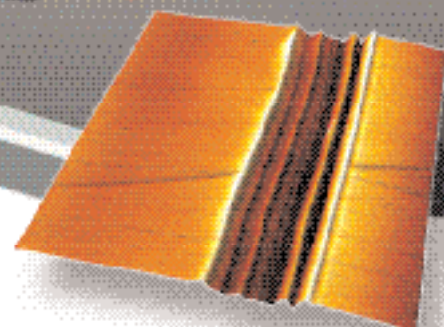
Grain analysis: sintered ceramics
scan size 80 μm z-range 11 μm



Polish tracks in metal
scan size 12 μm
z-range 300 nm



Stylus track
scan size 85 μm z-range 450 nm



www.easyScanAFM.com

Nanosurf AG
Grammetstrasse 14
CH-4410 Liestal

Tel. +41-61-927 56 46
Fax +41-61-927 56 47

www.nanosurf.com

Hochschulforschung und Industrie ergänzen sich



Grosses Interesse für supramolekulare Chemie bei Ciba Spezialitätenchemie, obwohl Anwendungen noch in weiter Ferne liegen

«In der Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie ist Komplementarität essenziell», sagt Werner Rutsch, Leiter des Corporate Technology Office der Ciba Spezialitätenchemie. «Jeder kann etwas, was der andere nicht kann – gemeinsam findet man schneller eine gute Lösung.»

Wichtig sei die frühzeitige Kontaktaufnahme mit der Industrie, betont Rutsch. So könnten deren konkrete Bedürfnisse rechtzeitig berücksichtigt werden. Gemäss seinen Erfahrungen ist es meistens zu spät, wenn schon ein fertiges Produkt existiert. Das Risiko sei zu gross, dass es nicht optimal auf die Kundenbedürfnisse ausgerichtet sei. Die Ciba wartet aber nicht darauf, dass die Hochschulforscher zu ihr kommen, sie betreibt aktives Technologyscouting und wird aktiv, wenn sie extern auf etwas Interessantes stösst.

Positive Zusammenarbeit

Mit mehr als 60 Universitäten, Hochschulen und Fachhochschulen in 12 Ländern arbeitet die Firma heute

Wem gehören die Patente?

In Verträgen wird unter anderem die Frage des geistigen Eigentums bzw. der Patentierung geregelt. Früher wurden sie häufig mit den Professoren abgeschlossen. Heute müssen sie immer mehr über Technologietransferstellen abgewickelt werden. Haben die Parteien unterschiedliche Vorstellungen über den kommerziellen Wert eines Patents oder einer Erfindung, muss eine faire Lösung gefunden werden, die sowohl der finanziellen Beteiligung und somit dem Risiko als auch dem erfinderischen Beitrag beider Parteien gerecht wird. Die finanzielle Abgeltung erfolgt meist über Lizenzgebühren.

zusammen. Dabei handelt es sich um Beratungsverträge mit Professoren und Kooperationen, in denen Projekte extern bearbeitet werden. Zudem haben acht Ciba-Mitarbeiter aus Forschung und Entwicklung Lehraufträge an Schweizer Universitäten. «Unsere Erfahrungen mit Hochschulkontakten sind sehr positiv», stellt Rutsch fest.

Der Anstoss zu Neuem kann aus der Grundlagenforschung kommen, worauf die Industrie die Umsetzung in ein kommerzielles Produkt an die Hand nimmt. Umgekehrt kann einem Phänomen, auf das die Industrie gestossen ist, an der Hochschule nachgegangen werden.

Langfristige Zusammenarbeit

Die industrielle Forschung steht heute unter grossem Zeit- und Leistungsdruck, was häufig zu kurzfristigeren Forschungszielen führt. Die Gefahr ist gross, dass dieser Druck auch an

die Forschung an den Universitäten weitergegeben wird. Rutsch ist sich dieses Problems bewusst: «Universitäten haben mit der Ausbildung und der Grundlagenforschung längerfristige Aufgaben. Entsprechend müssen Zusammenarbeiten auch einen längerfristigen Horizont haben.»

Interesse für supramolekulare funktionale Materialien

Die Entwicklung im Bereich der supramolekularen funktionalen Materialien ist für die Ciba von grossem Interesse. «Wir erwarten, dass sich auf diesem Gebiet und dem der Nanowissenschaften auch neue Geschäfte für uns erschliessen lassen», erklärt Rutsch. Konkrete Möglichkeiten sieht er in Hightech-Applikationen wie der Informationsspeicherung, aber auch in traditionellen Gebieten wie dem Oberflächenschutz. Für das nötige Fachwissen ist gesorgt: Im Ciba-Verwaltungsrat sitzt mit Chemienobelpreisträger Prof. Jean-Marie Lehn ein ausgewiesener Experte auf dem Gebiet der «supramolekularen Chemie», wie er sie selbst benannte.

Konkrete Anwendungen für die supramolekulare Chemie sieht Ciba für ihren Industriezweig noch in weiter Ferne. «Bei den Nanowissenschaften hingegen interessieren wir uns sehr für so genannte Nanopartikel. Erste Aktivitäten auf diesem Gebiet laufen bereits in unseren Labors. Zudem verfolgen wir die Fortschritte auf internationaler Ebene, um bahnbrechende Entwicklungen nicht zu verpassen», sagt Rutsch. ■

Hier kommt der Kran für den Aufbau supramolekularer Strukturen

Im Laboratorium für organische Chemie der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich arbeitet das Forscherteam von Prof. François Diederich an der Entwicklung von Molekülrezeptoren. Dieses Grundlagenforschungprojekt gehört in den noch jungen Bereich der Gestaltung auf nanoskopischer Ebene. Die Industrie bekundet bereits Interesse.

«Mittelfristig möchten wir einen Molekülkran auf die Beine stellen», erläutert Diederich. «Getreu seinem makroskopischen Vorbild soll dieser Kran in der Lage sein, ein Objekt aufzunehmen, zu transportieren und es dann am gewünschten Ort und zur gewünschten Zeit wieder freizugeben. Das betreffende Objekt ist ein Molekül; der Kran sollte auf diese Weise den Aufbau funktionaler supramolekularer Zusammensetzungen ermöglichen.»

«Bei aller Interdisziplinarität muss ich in einem bestimmten Bereich Spezialist bleiben.»



François Diederich

1952 in Ettelbrück in Luxemburg geboren. Er erwarb ein Diplom in Chemie und erlangte 1979 an der Universität Heidelberg mit einer Arbeit in organischer Chemie den Grad des Dr. rer. nat. Anschliessend absolvierte er einen Postdoc-Aufenthalt an der Universität von Kalifornien in Los Angeles. Nach Heidelberg zurückgekehrt, wandte er sich mit seiner Habilitationsarbeit über molekulare Erkennung bei synthetischen Cyclophan-Rezeptoren dem Bereich der supramolekularen Chemie zu. Seit 1992 ist er Professor für organische Chemie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Anwendungsbereiche: Aufbau supramolekularer Strukturen, Bioanalytik.

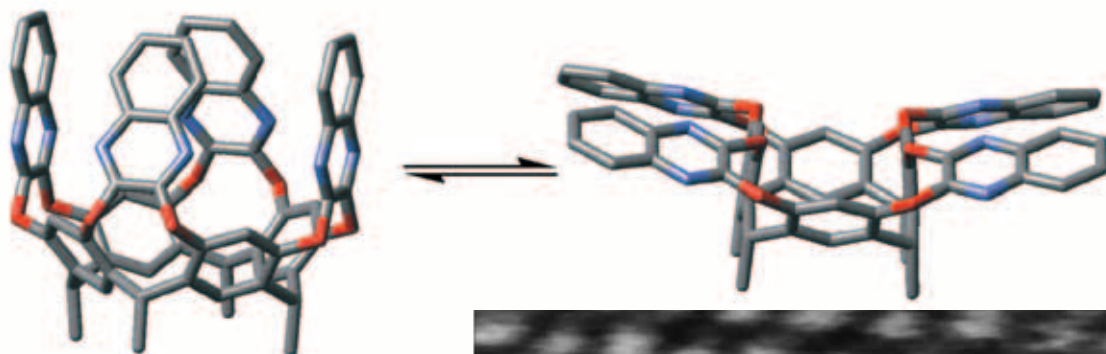
Affinität zwischen Molekülen

Die Möglichkeit zur Einzelverschiebung von Atomen oder Molekülen besteht bereits. Sie kann dank der Raster-Mikroskopie vorgenommen werden. «Der Nachteil an dieser Technik ist allerdings, dass sie zerstörend wirkt», führt der Forscher weiter aus. «Im Fall des Raster-Tunnel-Mikroskops ist ein elektrischer Impuls erforderlich, um das Molekül von seinem ursprünglichen Ort loszureissen und es nach der Verschiebung am gewünschten Ort wieder freizugeben.»

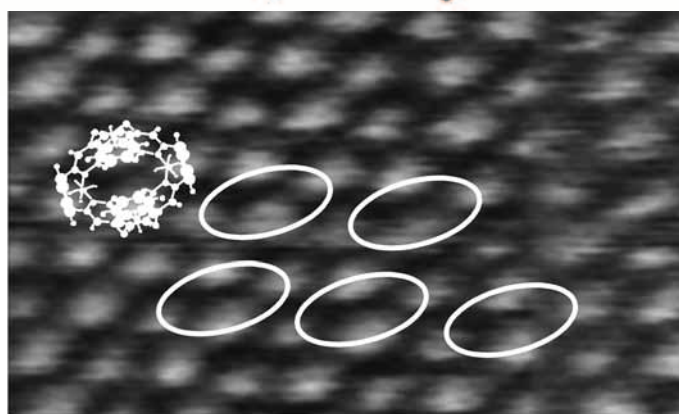
Beim Zürcher Ansatz will man dagegen das Molekül nicht mit Gewalt verschieben, sondern sich «die natürliche Affinität zwischen den Molekülen zunutze machen». Dieses Phänomen wird als molekulare Erkennung bezeichnet. «Um dieses Konzept drehen sich zahlreiche biologische Prozesse. Es handelt sich um die Fähigkeit eines als Rezeptor eingesetzten Moleküls, ein anderes Molekül zu erkennen und festzuhalten.»

Dynamische Rezeptoren

Die in Zürich untersuchten Rezeptoren wurden durch das Forscherteam von Prof. Donald J. Cram entdeckt, der zu den drei Chemienobelpreisträgern des Jahres 1987 zählte und im Juli 2001 verstarb. Es handelt sich um so genannte dynamische Rezeptoren, die zwei verschiedene Formen annehmen können – die Wissenschaftler sprechen hier von «Konformationen». Eine Konformation in Form eines Gefässes befähigt den Rezeptor – per molekularer Erkennung – ein bestimmtes Molekül einzufangen, das er bei offener Konformation dann wieder freigibt.



Dank der beiden Konformationen des Rezeptors kann die Vorrichtung ein Molekül einfangen, transportieren und schliesslich wieder freigeben. Diese Rezeptoren können auf einer Oberfläche befestigt werden.



6 nm

Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

Die Strukturen dieser beiden Konformationen sind bekannt. Was den Stimulus zum Umschalten zwischen den beiden Konformationen anbelangt, so konnte vor den Arbeiten der Zürcher Forschergruppe hierzu nur eine Temperaturänderung verwendet werden. «Das ist kein besonders praktisches Mittel», befindet Diederich. «Einer Anregung des Präsidenten der Leitungsgruppe des Programmes, Prof. Andreas Ludi, folgend, haben wir eine andere Möglichkeit entdeckt: eine Änderung des pH-Werts.»

Umfangreiche Synthesearbeit

Einer der Hauptaspekte des Zürcher Projekts ist die Veränderung verschiedener Bereiche der Rezeptoren durch organische Synthese, um sie leistungsfähiger zu machen. So ermöglicht beispielsweise eine Veränderung des Rands eine höhere Selektivität gegenüber bestimmten Molekülen. Dank des Hinzufügens von als «Beinen» bezeichneten funktionalen Gruppen können die Rezeptoren auf festen

Oberflächen angebracht werden. «Unlängst ist uns in Zusammenarbeit mit der Firma IBM die Darstellung einer Rezeptorenschicht auf einer Goldoberfläche gelungen», teilt Diederich mit.

Ein weiteres grundlegendes Konzept ist die Bezugsebene. Die Zürcher Forscher möchten nicht mehr mit einer Gruppe von Molekülen, sondern mit einem Einzelmolekül arbeiten. «Seit über zwanzig Jahren wenden die Chemiker das Prinzip der molekularen Erkennung auf Moleküle in Lösung an. Heute verfügen wir über die Mittel, um mit einem Einzelmolekül zu arbeiten.» Die Beobachtung wird auf dieser Ebene durch verschiedene Techniken möglich: die wichtigsten sind die Fluoreszenz-Spektroskopie sowie die Raster-Mikroskopie.

Zusammenarbeit unverzichtbar

«Diese Forschung ist ausgesprochen interdisziplinär», legt Diederich dar. «Es kann jedoch nicht jeder alles machen. Ich will in meinen Kompetenzbereichen an der Spitze bleiben: das sind die Konzipierung und organische

Synthese von komplexen Molekülen, die eine bestimmte angestrebte Eigenschaft oder Funktion aufweisen. Für das Übrige, insbesondere für die Darstellungsverfahren, müssen wir Partnerschaften eingehen, wie beispielsweise jene mit der Firma IBM, dem weltweiten Führer im Bereich der Raster-Mikroskopie, die darüber hinaus auch auf menschlicher Ebene ein bemerkenswertes Arbeitsumfeld bietet.» ■

Kontakt:

Prof. François Diederich,
Laboratorium für organische Chemie,
ETH-Zentrum, Universitätstrasse 16,
8092 Zürich
Tel. 01 632 29 65
Fax 01 632 11 09
diederich@org.chem.ethz.ch
www.diederich.chem.ethz.ch/group

Am Projekt Beteiligte:

Andrew Beeby, Andrew G. Cheetham, James K. Gimzewski, Volker Gramlich, Reto R. Schlittler, Philip J. Skinner, Yoko Yamakoshi.

Filme für die Kommunikation

Die modernen Technologien im Bereich Telekommunikation nutzen zunehmend Licht als Medium zur Verarbeitung oder Übermittlung von Information. Prof. Peter Günter, Leiter des Labors für nichtlineare Optik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich möchte an dieser vielversprechenden Entwicklung durch die Entwicklung von supramolekularen Filmen mitwirken, die die Veränderung oder Modulation einer optischen Welle ermöglichen.

«**W**ir streben die Entwicklung von organischen supramolekularen Materialien an, die in der Lage sind, ein Lichtsignal zu modulieren, beispielsweise durch Veränderung der Ausbreitungszeit der optischen Welle oder der Lichtintensität», erklärt Günter. «Wenn diese Änderungen nach einem bestimmten Code angewandt werden, ermöglichen sie die Übermittlung einer grossen Datenmenge in kurzer Zeit mithilfe einer optischen Welle.» Zu diesem Zweck müssen die in Zürich entwickelten Materialien entweder elektrooptische oder nichtlinear-optische Eigenschaften aufweisen. «Bei der ersten Art von Materialien kann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Welle durch ein elektrisches Feld verändert werden. Bei der zweiten erfolgt die Veränderung der Ausbreitungseigenschaften

eines optischen Strahls direkt durch einen anderen optischen Strahl. Unsere Forschung beinhaltet beide Richtungen.»

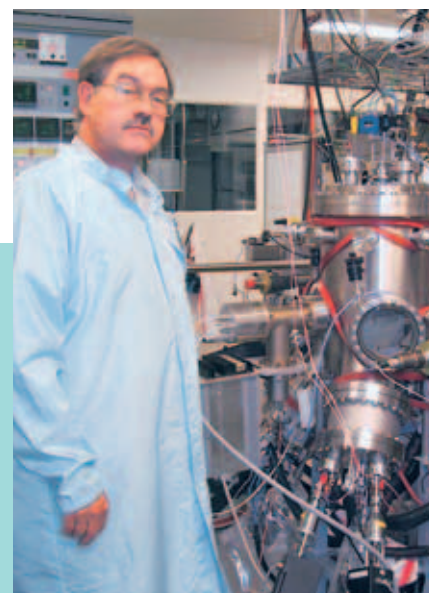
Geordnete Moleküle

Man kennt heute viele organische Moleküle, welche als Basis für Materialien mit nichtlinear-optischen Eigenschaften geeignet sind. Es handelt sich um neuere polare Moleküle, welche an der ETHZ in den letzten Jahren so weit entwickelt wurden, dass sie nun für optoelektronische Anwendungen gut geeignet wären, wenn davon gute Filme hergestellt werden könnten. «Bereits die Ausgangsmoleküle weisen interessante Eigenschaften auf», führt der Forscher weiter aus. «Um diese auf makroskopischer Ebene nutzen zu können, müssen die Moleküle

parallel angeordnet werden. Diese Selbstanordnung ist für die interessanten Moleküle noch wenig erforscht und daher noch kaum beherrschbar. Wir müssen an das Ausgangsmolekül eine funktionale Gruppe anfügen, die es ihm ermöglicht, seine Nachbarn zu erkennen und sich im Verhältnis zu ihnen korrekt zu positionieren.»

Filme versus Kristalle

Kristallanordnungen mit derartigen nichtlinearen Eigenschaften sind bereits bekannt. Die Zürcher Forscher

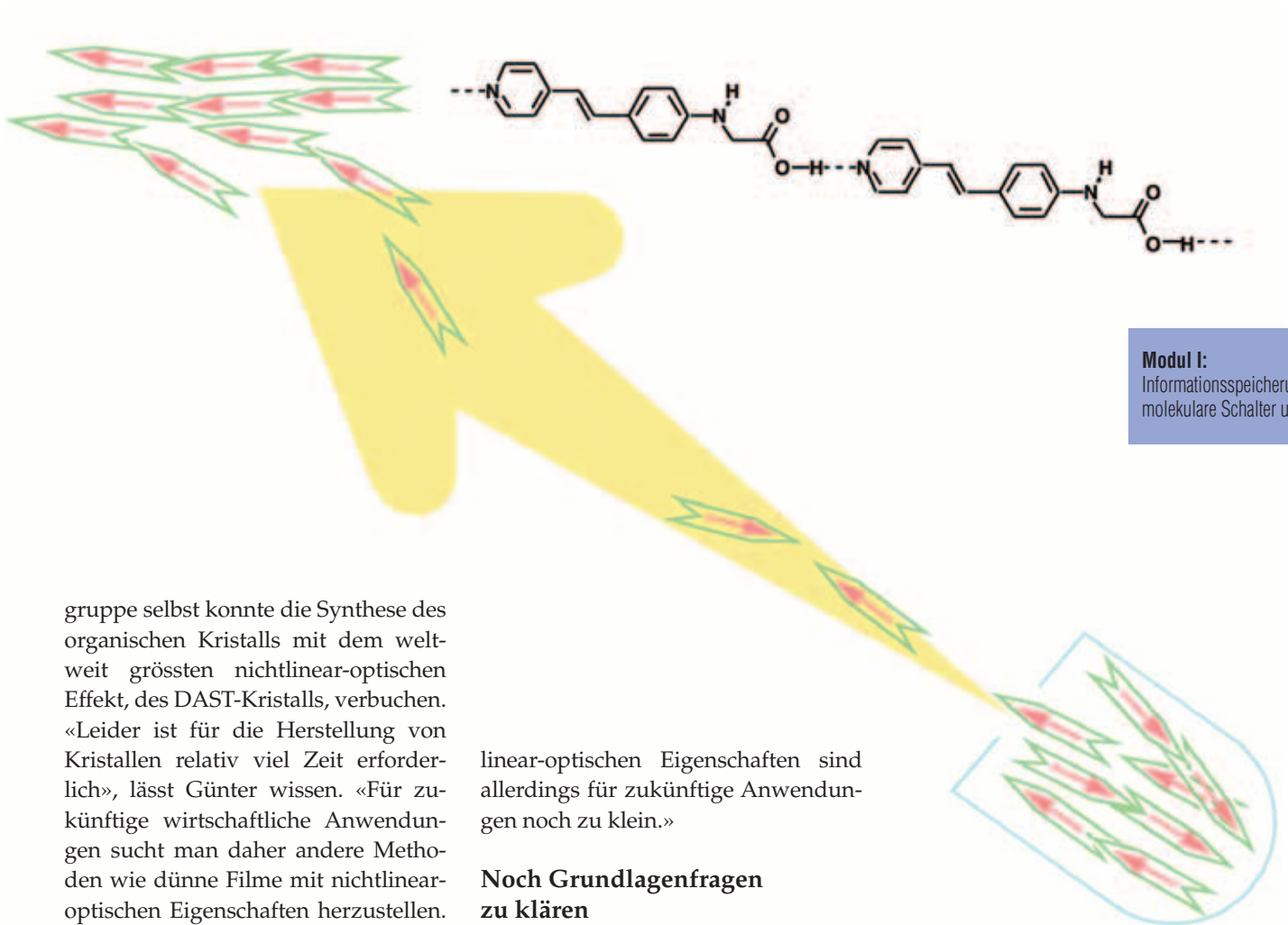


Peter Günter

Studium an der ETH-Zürich in Physik und Mathematik. Er promovierte 1976 dort mit einer Arbeit über die elektrooptischen und lichtbrechenden Eigenschaften von KNbO₃-Kristalle die mit der Silbermedaille der ETH ausgezeichnet wurde. 1982 habilitierte er zum Privatdozenten der angewandten Physik und 1986 wurde er zum Professor für Experimentalphysik berufen. Heute leitet er das Labor für nichtlineare Optik, wo er an der Entwicklung und Anwendung neuer Materialien für die optische Informationsverarbeitung, Telekommunikation und Datenspeicherung arbeitet.

Anwendungsbereich:
Optische Telekommunikation.

«Organische supramolekulare Filme könnten die ideale Lösung darstellen.»



Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

gruppe selbst konnte die Synthese des organischen Kristalls mit dem weltweit grössten nichtlinear-optischen Effekt, des DAST-Kristalls, verbuchen. «Leider ist für die Herstellung von Kristallen relativ viel Zeit erforderlich», lässt Günter wissen. «Für zukünftige wirtschaftliche Anwendungen sucht man daher andere Methoden wie dünne Filme mit nichtlinear-optischen Eigenschaften herzustellen. Eine Methode könnte die Deposition organischer supramolekularer Filme auf Substratmaterialien sein.» Um derartige Filme zu erhalten, musste die Zürcher Forschergruppe selbst eine Technik entwickeln, die den Namen «Oblique Incidence Organic Molecular Beam Deposition» trägt. Bei dieser Technik, für die eine Apparatur erforderlich ist, die ein ganzes Labor füllt, werden die Moleküle zunächst aufgeheizt und dann verdampft. Anschliessend werden sie zu einem molekularen Strahl geordnet und auf eine Oberfläche gelenkt, auf die sie unter einem bestimmten Winkel auftreffen, wo sie sich unter geeigneten Bedingungen von selbst in der richtigen Orientierung anordnen. «Wir konnten bereits unsere ersten Filme herstellen und deren Eigenschaften untersuchen. Die Resultate der strukturellen Anordnung sind sehr ermutigend. Die nicht-

linear-optischen Eigenschaften sind allerdings für zukünftige Anwendungen noch zu klein.»

Noch Grundlagenfragen zu klären

«Das Ziel des von uns im Rahmen dieses NFP durchgeführten Projekts lautet, die Anordnung der Moleküle besser zu verstehen und zu analysieren», schliesst Günter. «Wir verfügen bereits über erste Ergebnisse, die darauf hinweisen, dass die Anordnung primär davon abhängt, unter welchem Winkel die Moleküle auf das Substrat aufgetragen werden. Es bleiben noch viele Grundlagenfragen zu klären, bevor an Anwendungen gedacht werden kann. Während dieses Projekts hoffen wir jedoch, unser Verständnis für die Selbstanordnung der nichtlinear-optischen Moleküle so weit entwickeln zu können, dass erste Grundlagen für Anwendungen in der Photooptik und Optoelektronik nicht mehr weit entfernt sind.» ■

Dank der so genannten «Oblique Incidence Organic Molecular Beam Deposition»-Technik können Moleküle auf einer Oberfläche abgesetzt werden. Man erhält so geordnete supramolekulare Filme.

Kontakt:

Prof. Peter Günter, HPF E 8, IQE
Nichtlineare Optik, ETH Hönggerberg,
8093 Zürich
Tel. 01 633 22 95
Fax 01 633 10 56
nlo@iqe.phys.ethz.ch
www.nlo.ethz.ch

Am Projekt Beteiligte:

Johannes Barth, Ivan Biaggio,
Chengzhi Cai, Eric Delvigne,
Klaus Kern, Ali Rashid.

Langlebige metastabile Zustände

«Die Wechselwirkung der Moleküle im Verband ist entscheidend.»



Prof. Andreas Hauser und seine Projektpartner stellen gezielt Strukturen mit langlebigen metastabilen Zuständen her. Mit den Zuständen ändern sich auch die optischen oder magnetischen Eigenschaften. Dieses Verhalten kann für Anwendungen als molekulare Schalter sowie für die Informationsspeicherung nützlich sein.

Werden Moleküle mit Licht angeregt, geben sie in der Regel die aufgenommene Energie rasch wieder ab und kehren im besten Fall lumineszierend in ihren Grundzustand zurück (Bild 1). Hauser sucht Strukturen, die ihren angeregten Zustand lange beibehalten und die aufgenommene Energie für Folgeaktionen zur Verfügung stellen oder beim Zustandswechsel ihre optischen und magnetischen Eigenschaften ver-

ändern. Die auf Eisen(II) basierenden Spin-Crossover-Verbindungen, die im Prinzip die Eigenschaften eines optischen Speichermediums erfüllen, gelten als klassisches Modell in diesem Forschungsgebiet, ohne jedoch supramolekulare Materialien im eigentlichen Sinn zu sein.

Drei Forscher aus drei Universitäten arbeiten für gemeinsame Ziele eng zusammen. Hauser ist Physikochemiker mit Interesse für die (photo-) physikalischen Eigenschaften der Verbindungen, die seine Projektpartner synthetisieren. Prof. Thomas Ward ist der synthetische Chemiker mit starkem organischem Hintergrund und Prof. Silvio Decurtins beschäftigt sich mit Koordinationschemie und Magnetismus von Supermolekülen. «Unser Projekt befindet sich in der Phase der Molekülsynthese», hält Hauser fest.

«Wir wollen Systeme mit langlebigen metastabilen Zuständen herstellen, denn hieraus ergeben sich interessante Eigenschaftsveränderungen», beschreibt das Forschertrio die Ziele des Projekts. Bausteine sind Koordinations-Verbindungen, bei denen ein

(Von links)

Thomas Ward

Chemiestudium in Freiburg (CH) und Doktorat an der ETH Zürich. Postdoc-Aufenthalte an der Cornell University und an der Universität Lausanne. Bis 1999 an der Universität Bern tätig, seit 2000 Professor an der Universität Neuenburg. 2001 Förderung des Schweizerischen Nationalfonds. Forschungsinteressen: supramolekulare Katalyse.

Andreas Hauser

Chemiestudium und Doktorat in Bern. Postdoc-Aufenthalte in Canberra, Australien, und Mainz, Deutschland. 1992 bis 1996 Profil-2-Projekt des SNF in Bern. Seit Oktober 1996 ordentlicher Professor für physikalische Chemie an der Universität Genf. Forschungsschwerpunkt: photophysikalische und photochemische Eigenschaften von Koordinationsverbindungen der Übergangsmetalle.

Silvio Decurtins

Chemiestudium an der Universität Zürich, Doktorat an der Universität Bern. Postdoc-Aufenthalte in den USA und in Deutschland. 4 Jahre Industrieforschung, davon ein Jahr an der ETH Zürich und ein Jahr an der Universität von Lancaster (England). Seit 1998 Professor an der Universität Bern (anorganische Chemie, supramolekulare Chemie, molekularer Magnetismus).

Anwendungsbereiche: Informationsspeicherung und -verarbeitung.

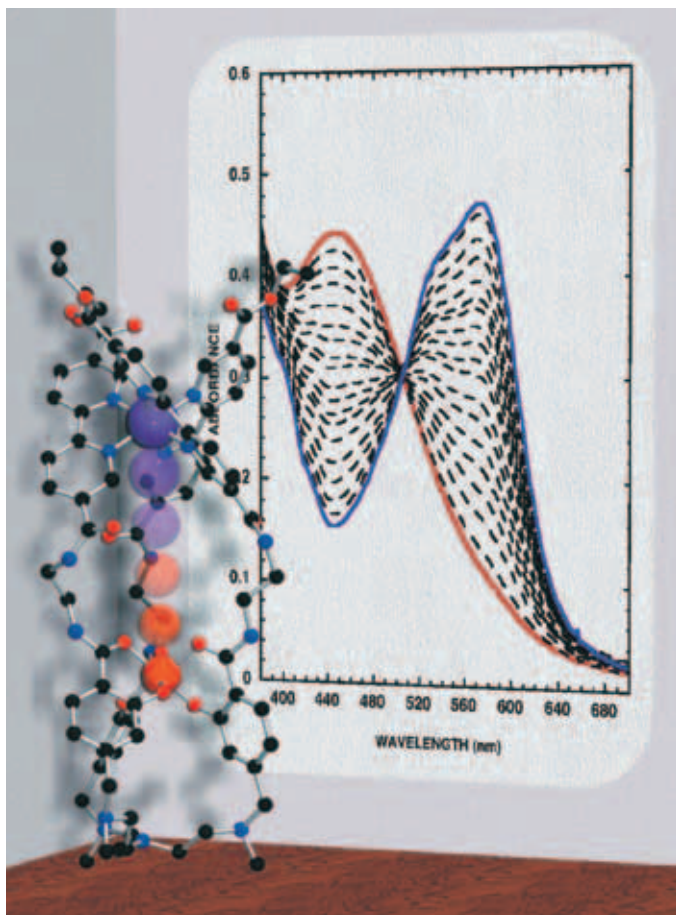


Bild 2:
Struktur mit
den Eigenschaften
eines molekularen
Schalters

Metallion durch meist organische Moleküle umgeben ist, so genannte Liganden. Die Forscher wollen sowohl die Metallzentren als auch die Liganden variieren und im supramolekularen Verband kombinieren.

Ein wanderndes Metallzentrum

Ein gutes Beispiel ist das Triple-Helikat aus Wards Labor (Bild 2): Er geht von einem Eisen(II)-Ion (violette Kugel) in einer Umgebung von drei bipyridinartigen Liganden aus. Wegen einer sanften Oxidation zu Eisen(III) wandert das Metallzentrum in den unteren Bereich des Makromoleküls, wo es von Salicylamid-Liganden umgeben wird (rote Kugel). Das zugehörige Lichtabsorptionsspektrum ändert sich dramatisch. Die blaue Linie gehört zum Eisen(II), die rote zum Eisen(III). Der Prozess und die Absorptionsveränderung sind reversibel, das heisst diese Struktur hat die Eigenschaften eines molekularen Schalters.

Anregungsenergie- und licht-induzierter Elektronentransfer

Werden die Komplexbausteine supramolekular zu einem Verband zusammengesetzt, ergeben sich unter ihnen Wechselwirkungen. «Die Wechselwirkungen im Verband sind entscheidend», erläutert Hauser. Das Einzelmolekül könne seine besonderen physikalischen Eigenschaften verlieren oder neue dazugewinnen. Dazu Decurtins: «Genau dies ist der Zweck des molekularen Engineerings bei den supramolekularen funktionalen Materialien.»

Ward synthetisiert nun gezielt molekulare Verbindungen, bei denen, in Erweiterung des Konzepts des molekularen Schalters, die verschiedenen Koordinationsstellen mit verschiedenen Metallzentren in unterschiedlichen Oxidationsstufen besetzt sind, Decurtins stellt Verbindungen her, in denen die Metallzentren in ausgedehnten Netzwerken miteinander verknüpft sind. Jedes Metallzentrum mit seiner Ligandenumgebung bildet eine chromophore Einheit, die, wenn sie mit Licht angeregt wird, je nach Eigen-

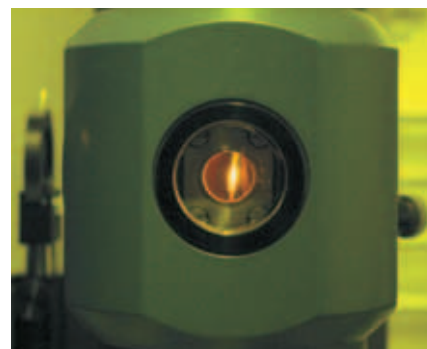


Bild 1:
Lumineszenz
eines Ruthenium-
komplexes

Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

schaften des Nachbarzentrums unterschiedliche Funktionen wahrnehmen kann. Sie kann zum Beispiel die Funktion eines Elektronendonors oder eines -akzeptors annehmen. Entsprechend sollen über einen lichtinduzierten Elektronentransfer langlebige Charge-Transfer-Zustände erreicht werden, was sowohl eine Informations- als auch eine Energiespeicherung darstellt.

Die Anregungsenergie kann jedoch auch durch Energietransfer auf die Nachbareinheit übertragen: Die Lumineszenz der ursprünglich angeregten chromophoren Einheit geht aus, diejenige der Nachbareinheit an. Ein weiterer wichtiger Aspekt, dem insbesondere in den molekularen Strukturen von Ward Rechnung getragen wird, ist dass in den supramolekularen Verbänden diese Prozesse gerichtet ablaufen. ■

Kontakt:

Prof. Andreas Hauser, Département de chimie physique, Université de Genève, quai Ernest-Ansermet 30, 1211 Genève
Tel. 022 702 65 59
Fax 022 702 61 03
andreas.hauser@chiphy.unige.ch
www.unige.ch/sciences/chifi/Hauser

Am Projekt Beteiligte:

Feyissa Gelalcha, Julietta Gradinaru, Andreas Loosli, Melanie Pilkington, Asmàa Sadki, Maria Cristina Senna, Mohamed Zerara.

Polare Kristalle

«Feste Lösungen sind in der technischen Welt ein hervorragendes Prinzip für die Konzeption von Materialien.»



Jürg Hulliger

Chemiestudium an der ETH Zürich und 1984 Doktorat an der Uni Zürich. Postdoktorat an der Pennsylvania State University, USA. Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Lehrbeauftragter an der ETH und der Universität Zürich. Seit 1993 ist Jürg Hulliger Professor für Chemie und Kristallzüchtung an der Universität Bern. Verschiedene Gastprofessuren und Sabbatical am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart. Forschungsinteressen: Materialwissenschaftlich orientierte Chemie, Kristallzüchtung und Flüssigphasenepitaxie, Festkörpertheorie und physikalische Eigenschaften.

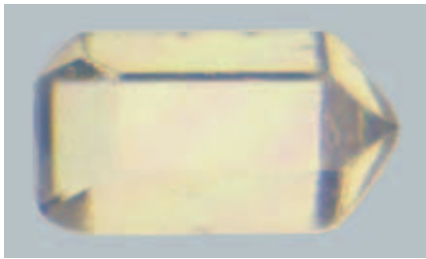
Die Forschergruppe von Prof. Jürg Hulliger an der Universität Bern konzipiert, kristallisiert und untersucht polare Molekülkristalle. Das Interesse fokussiert sich auf so genannte feste Lösungen sowie Kristalle mit Kanaleinschlüssen. Für polare Kristalle zeichnet sich ein weites Feld von Hightech-Anwendungen ab, von der Sensorik über die Informationsspeicherung bis hin zur Frequenzwandlung.

Anwendungsbereiche: Sensorik, Informationsspeicherung, optische Computer, Frequenzumwandler oder -filter.

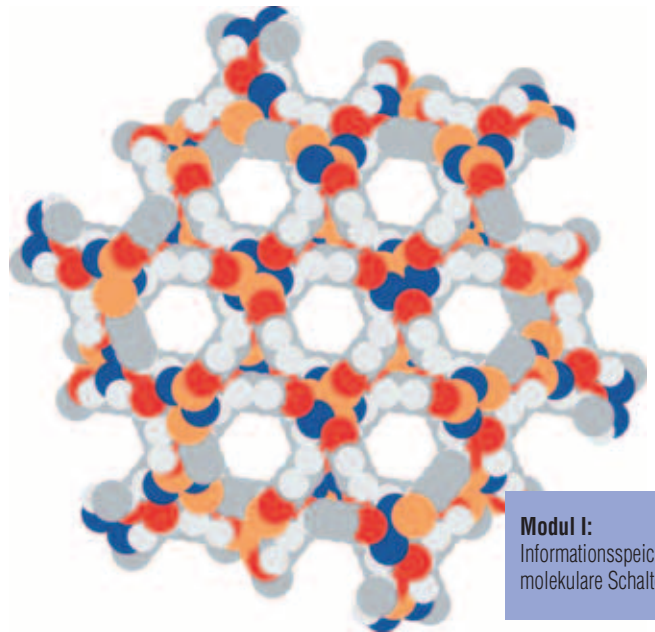
Es ist der Traum eines jeden «Material Designers», die Eigenschaften seiner Materialien voraussagen zu können. «Wir konzentrieren uns auf die elektrische Polarität, denn sie ist als physikalische Eigenschaft viel einfacher vorausbestimmen als etwa der Schmelzpunkt eines Stoffs oder andere kolligative Eigenschaften», erklärt Hulliger. Das Ziel seines Projekts ist die systematische Herstellung von polaren Kristallen aus mehreren Molekülen und deren Untersuchung. Die Polarität eines Kristalls wird aufgebaut, indem von jedem Einzelmolekül ein Polaritätsbeitrag aufgenommen und zu einer Gesamtpolarität zusammengesetzt wird. Die statistische Analyse der Datenbank aller bekannten und untersuchten Molekülkristalle zeigt, dass nur etwa ein Viertel der Strukturen polar sind. In allen anderen Fällen sind die Moleküle im Kristall so

angeordnet, dass keine Polarität resultiert. «Unsere Ausgangsfrage lautete deshalb: Lässt sich eine Methode entwickeln, die in jedem Fall aus polaren Molekülen zu einem polaren Kristall führt?», umreisst Hulliger die Idee seines Projekts. Sein Ansatz besteht aus vier Schritten:

- Quantenmechanische Abschätzung der intermolekularen Wechselwirkungen,
- Abschätzung der zu erwartenden Polarität anhand einer statistischen Theorie des Kristallwachstums und der Wechselwirkungsenergien,
- Synthese der Moleküle und Kristallisation,
- Polaritätsmessungen mit eigens entwickelten Methoden.



Das Eindringen der farbverändernden Gastmoleküle in den Zeolithkristall (oben) beginnt an den Endflächen (Mitte). Nach Abschluss des Vorgangs ist der ganze Kristall eingefärbt (unten). Rechts: Molekulare Struktur des Kristalls.



Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

Seine Arbeiten konzentrieren sich auf zwei Typen von Materialien: So genannte feste Lösungen und Kanal-Einschluss-Verbindungen.

Feste Lösungen

«Feste Lösungen sind in der technischen Welt ein hervorragendes Prinzip für die Konzeption von Materialien», erläutert der Wissenschaftler. «Es beschreibt nichts anderes als einen Festkörper, in dem gewisse Plätze in der Struktur von statistisch verteilten Fremdatomen oder -molekülen eingenommen werden. Gold-Silber-Legierungen oder ein mit Germanium dotierter Siliziumkristall sind Beispiele für feste Lösungen.» Der Berner Forschergruppe ist es kürzlich gelungen, polare Molekülkristalle herzustellen, die aus unpolaren und polaren Molekülen fast identischer Struktur bestehen. Eine feste Lösung eben, an welcher nun der Polaritätsaufbau weiter untersucht wird.

Kanal-Einschluss-Verbindungen

Die von Hulligers Gruppe synthetisierten Kristalle bestehen aus Molekülen (Wirtmoleküle), die sich so anordnen, dass kanalförmige Hohlräume entstehen, in die sich verschiedene Gastmoleküle einlagern können. Den Berner Forschern gelangen an solchen organischen Zeolithen interessante Experimente, in welchen die Moleküle in den Kanälen gegen zahlreiche andere Moleküle ausgetauscht wurden (siehe Abbildung). So wurden beispielsweise stabile Radikale (Moleküle mit einem freien Elektron) oder Moleküle aus 60 und 70 Kohlenstoffatomen (C_{60} , C_{70}) in den Kanälen platziert. Es konnte insbesondere gezeigt werden, dass die verwendeten Zeolithe mit hoher Geschwindigkeit gasförmiges oder in Wasser gelöstes Jod aufnehmen. Diese Beobachtung ist nun Gegenstand einer Patentanmeldung, welche später einmal zu Filtern für radioaktives Jod (Beseitigung radioaktiver Abfälle) führen kann.

Weites Feld von möglichen Anwendungen

«Viele Basiskomponenten der High-techwelt sind polar: Dioden, Transistoren, Drucksensoren, Schwingquarze in Uhren oder Frequenzverdoppler-Kristalle», zählt Hulliger auf. Er sieht für die Resultate seiner Forschung zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. Bezüglich der Zusammenarbeit

mit der Industrie ist er offen und erfolgreich. Dennoch sieht er die prioritäre Aufgabe der Universitätsforschung bei der Schaffung von intellektuellen Produkten, zum Beispiel theoretische Modelle für die Lösung von Problemstellungen. Obwohl bereits vielversprechende Resultate vorliegen, steht die Gruppe von Hulliger für die nächste Programmetappe vor neuen Herausforderungen: Er will weitere feste Lösungen synthetisieren und den experimentellen Beweis für die theoretischen Aussagen zum bipolaren Kristallwachstum erbringen. ■

Kontakt:

Prof. Jürg Hulliger, Departement für Chemie und Biochemie, Universität Bern, Freiestrasse 3, 3000 Bern
Tel. 031 631 42 41
Fax 031 631 39 93
juerg.hulliger@iac.unibe.ch
www.dcb.unibe.ch/groups/hulliger

Am Projekt Beteiligte:

Miroslav Alaga-Bogdanovic, Felix Budde, Timo Hertzsch, Stefan Kluge, Heike Süss, Thomas Wuest.

Mechanisch erzeugte Farbveränderungen

Beat A. Keller

Studium der Chemie und Biochemie sowie Dissertation an der Universität Zürich. Postdoc an der Stanford University und der Universität Zürich. Es folgten drei Jahre Tätigkeit als Forschungsschemiker an der EMPA. Seit 1993 Group Leader Organic Interface Technology an der EMPA. Lehrtätigkeit: seit 1994 an der ETH Zürich und seit 1999 an der Fachhochschule Buchs.



Die Forschergruppe von Beat A. Keller an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) in Dübendorf stellt aus Molekülen mit Mehrfachbindungen Polymere her. Werden diese einem mechanischen Druck ausgesetzt, verändern sie ihr Lichtabsorptionsverhalten. Diese Eigenschaft kann möglicherweise in Anwendungen für die Informationsspeicherung verwendet werden.

Anwendungsbereiche:
Sensoren, Solarzellen, Bildschirme.

Ausgangspunkt des Projekts war ein Literaturbeitrag, der über Polymermaterialien berichtete, bei denen sich durch Veränderung der externen Bedingungen eine Farbänderung erzeugen liess. Die Autoren nutzten diese Eigenschaft, um einen Sensor für biologische Antikörper herzustellen. «Daraus ist die Idee entstanden, diese Änderung in der optischen Absorption nicht nur für einen Sensor zu verwenden, sondern ganz allgemein als Informationsträger», erläutert Keller. Das chromatische Verhalten dieser Materialien kann nicht nur durch eine Antikörper-Antigen-Reaktion beeinflusst werden, sondern auch durch andere externe Einflüsse, zum Beispiel Lösungsmittelleffekte, Hitze oder mechanischen Druck. Im letzten Fall spricht man von Mechanochromismus. Der Grund für diese

supramolekulare Eigenschaft liegt in Verzerrungen der sogenannten konjugierten Doppel- und Dreifachbindungen, die für die Absorption von Licht verantwortlich sind. Durch geeignete Auswahl des Ausgangsmaterials kann die Struktur des Polymerfilms beeinflusst werden.

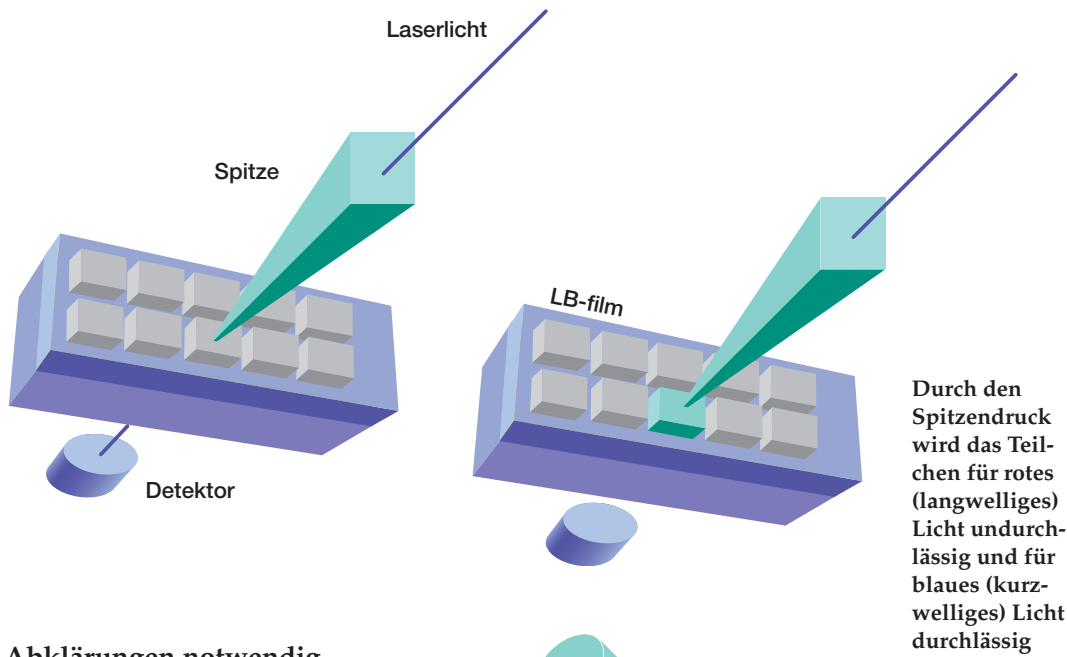
Elemente für die Informationsspeicherung

Aus Diacetylenen als Ausgangsmaterial stellt die Dübendorfer Forschergruppe einen dünnen Film (Langmuir-Blodgett-Film) her, der anschliessend polymerisiert wird. In einem nächste

Schritt wird der Film mit einem geeigneten Instrument in kleinste Quadrate von wenigen Nanometern Kantenlänge strukturiert. Dazu Keller: «Jede dieser Einheiten enthält die supramole-

«Neue Impulse für die Informationsspeicherung in Polymermaterialien.»

kulare Eigenschaft des Gesamtsystems. Ich will jede Einheit individuell adressieren können und mit der Spitze eines Raster-Kraft-Mikroskops, zum Beispiel eines optischen Nahfeldmikroskops, einen mechanischen Druck ausüben. Dabei verschiebt sich der Absorptionsbereich, und jedes Quadrätchen wird zu einem Informationsträger im Sinne der Fragen: Hat es Stress gespürt oder nicht? Lässt es Laserlicht einer bestimmten Wellenlänge durch oder nicht.» Aus diesem Verhalten erwartet Keller neue Impulse für die Informationsspeicherung in Polymermaterialien.



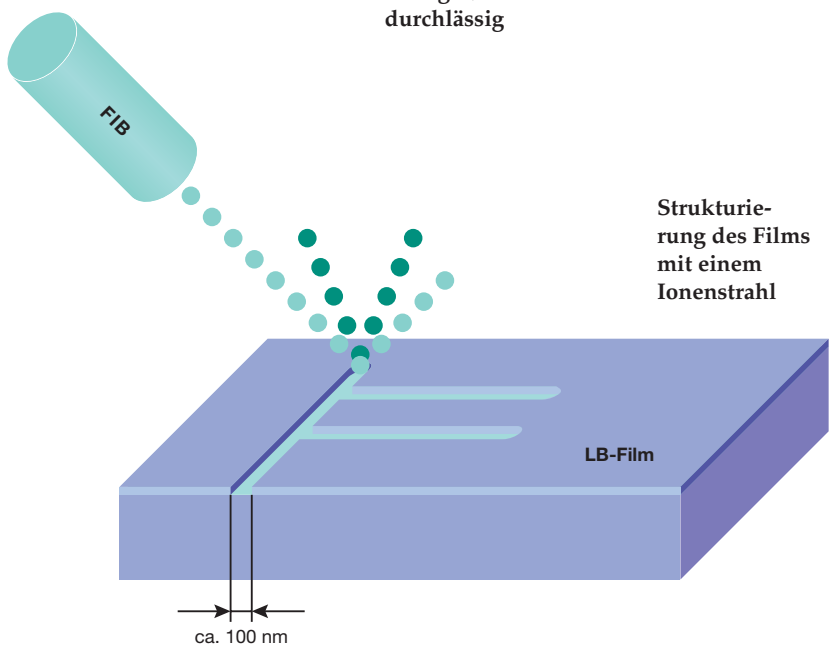
Durch den Spitzendruck wird das Teilchen für rotes (langwelliges) Licht undurchlässig und für blaues (kurzwelliges) Licht durchlässig

Abklärungen notwendig

Viele Fragen sind noch ungelöst. Wie klein dürfen die Quadrate werden, ohne die supramolekulare Eigenschaft zu verlieren? Wie kann der Film strukturiert werden? Wieviel Druck ist nötig, um die Farbveränderung zu erzeugen? Ist sie reversibel? Wie schnell spielt sich der Vorgang ab? Diesen Fragen geht Kellers Projektpartner, Prof. Wilfred van Gunsteren, an der ETH Zürich mit quantenchemischen und -dynamischen Modellrechnungen nach. Im experimentellen Bereich besteht die grösste Herausforderung zurzeit darin, grössere Stücke des polymerisierten Film homogen herzustellen und mit einem Ionen- oder Elektronenstrahl zu strukturieren (siehe Grafik). Anschliessend steht die Entwicklung eines Systems an, mit dem die einzelnen Quadrätchen adressiert werden können.

Sensoren und Schalter

Neben dem Einsatz für die Informationsspeicherung sieht Keller die Möglichkeit für Sensoren mit einem oder mehreren Rezeptormolekülen sowie für Schalter in Mikroreaktoren. «Ich versuche immer wieder, die Kontakte zur Industrie zu beleben, auch wenn wir noch viele Grundlagen bearbeiten», erklärt der Dübendorfer Forscher, «zudem bestehen internationale Kontakte.» ■



Strukturierung des Films mit einem Ionenstrahl

Kontakt:
Dr. Beat A. Keller, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Tel. 01 823 46 52
Fax 01 823 40 12
beat.keller@empa.ch
www.empa.ch

Am Projekt Beteiligte:
Dirk Bakowies, Elisabeth Geiger, Wilfred van Gunsteren.

«Responsive nanocapsules»

Ein molekulares Trojanisches Pferd

Am Institut für physikalische Chemie der Universität Basel ist es dem Forscherteam von Privatdozent Wolfgang Meier gelungen, durch natürliche Vorbilder inspiriert, winzige künstliche Hohlkugeln zu synthetisieren. Diese Nanokapseln, die verschiedene Substanzen auf spezifische Weise an ihren Bestimmungsort transportieren, absorbieren und schützen können, stellen einen wichtigen Hoffnungsträger dar, besonders in der Medizin, wo mit ihrer Hilfe Medikamente gezielt an bestimmte Stellen im Körper gebracht werden könnten.

In der Chemie wie in der Pharmakologie interessiert man sich eigentlich eher für den Inhalt, den wirksamen Bestandteil, als für den Behälter, das heisst die Trägersubstanz. Dabei sind beide Seiten von grundlegender Bedeutung, wie Meier erläutert: «Nehmen wir einen Patienten, der an einer genetischen Krankheit leidet und dem ein bestimmtes Enzym fehlt. Unmöglich, dieses Enzym direkt in seinen Körper einzubringen. Da widersetzt sich sein Immunsystem. Im Inneren einer Kapsel dagegen ist das Enzym geschützt. Und in den von uns entwickelten Kapseln kann das Enzym sogar seine Wirkung entfalten.»

Anwendungsbereiche:
Medizin, Pharmakologie.

«Die Machbarkeit konnten wir beweisen, nun wollen wir den Nutzen aufzeigen.»

Zwischen 50 und 500 Nanometern

Bei diesen Kapseln handelt es sich um winzige, für das blosse Auge unsichtbare Hohlkugeln: ihr Durchmesser liegt in der Regel zwischen 50 und 500 Nanometern. Die Wände werden aus Polymeren hergestellt. Was diese Nanokapseln vor allem reizvoll macht, ist der Umstand, dass sich die Durchlässigkeit ihrer Wand bequem verändern lässt. «Auf diese Weise kann eine im Inneren enthaltene Substanz auf Befehl freigesetzt werden», erklärt Meier.

Hierbei kann es sich um ganz verschiedene Arten von Substanzen handeln – Medikamente, Farbstoffe usw., so dass für derartige Systeme zahlreiche potentielle Anwendungen bestehen.

Künstliche Viren...

Die Gruppe von Meier verfolgt zur Herstellung dieser Nanokapseln zwei unterschiedliche Strategien, die beide durch natürliche Vorbilder inspiriert sind. Beim ersten Ansatz hat das Basler Team versucht, ein Pflanzenvirus zu imitieren, das CCMV-Virus (Cowpea Chlorotic Mottle Virus). Das praktische an diesem Modell ist, dass sich,



Wolfgang Meier

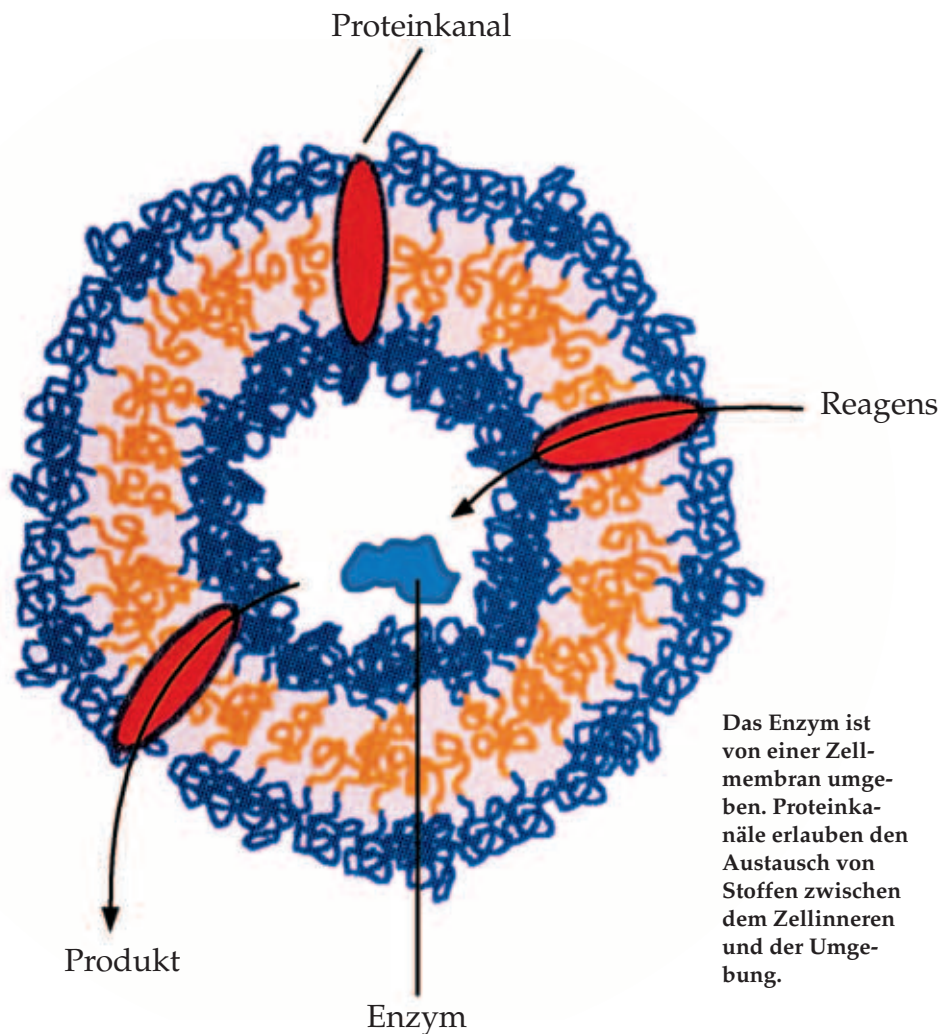
1964 in Biberach (Deutschland) geboren.

Er studierte Chemie an

der Universität Freiburg im Breisgau. Im Jahre 1992 erlangte er dort den Doktorgrad mit einer Arbeit über Polymere, die eine Flüssigkristallphase bilden. Seit 1996 leitet er seine eigene Gruppe an der Universität Basel und kann so unabhängig forschen. Seine Interessengebiete sind Polymerchemie und Kolloidchemie.

in Abhängigkeit vom Säuregrad des Milieus, in dem sich das Virus befindet, die Grösse seiner Proteinhülle ändert, und damit auch deren Durchlässigkeit. Man muss sich die Hülle des Virus wie ein Netz vorstellen. Wenn die Hülle bei hohem Säuregrad ist, sind die Schlaufen des Netzes ganz eng, so dass die Membran undurchlässig ist. Wenn umgekehrt bei niedrigem Säuregrad das Netz weiter ist, dehnen sich die Schlaufen aus, so dass eine bis dahin im Inneren der Kapsel festgehaltene Substanz freigesetzt werden kann.

Es ist Wissenschaftlern gelungen, diese natürliche Hülle zu isolieren, eine Substanz in sie einzuschliessen und ihre Freisetzung in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen zu beobachten. «Technisch gesehen ist die Arbeit mit den Viren mühsam», erklärt Meier.



Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

Das Enzym ist von einer Zellmembran umgeben. Proteinkanäle erlauben den Austausch von Stoffen zwischen dem Zellinneren und der Umgebung.

«Deshalb versuchen wir es mit einem künstlichen Ansatz, mit Polymeren statt Proteinen.»

... und künstliche Zellen

Beim zweiten Ansatz haben die Forscher sich durch die biologische Zelle inspirieren lassen. Diese ist von einer Zellmembran umgeben, durch die Proteinkanäle führen, die den Austausch von Stoffen zwischen dem Zellinneren und der Umgebung erlauben. In Analogie hierzu hat die Gruppe von Meier künstliche Nanokapseln aus Polymeren synthetisiert und an deren Oberfläche Proteinkanäle angebracht. In Abhängigkeit vom Typ der gewählten Kanäle können jeweils nur bestimmte Substanzen ins Kapselinnere bzw. heraus gelangen.

Als Test für die Wirksamkeit eines derartigen Systems hat die Gruppe von Meier ein Enzym eingeschlossen, das in der Lage ist, ein bestimmtes Antibiotikum abzubauen. Die Kapsel wurde anschliessend in eine Lösung getaucht, die dieses Antibiotikum ent-

hielt. Da das Enzym zu gross war, um durch den Proteinkanal zu passen, blieb es in der Kapsel eingeschlossen. Das Antibiotikum konnte dagegen, dank seiner geringeren Abmessungen, den Kanal passieren und mit dem Enzym reagieren, was aufgrund der Abnahme der Konzentration des Antibiotikums in der Lösung nachgewiesen werden konnte.

Bis zur wirtschaftlichen Nutzung wird es noch dauern

Beim derzeitigen Forschungsstand beherrscht die Basler Gruppe die Synthese dieser beiden verschiedenen Typen von Kapsel. «Beide Methoden waren Gegenstand von Veröffentlichungen in Fachzeitschriften», teilt Meier mit. «Das nächste Ziel lautet nun, sich nach den Möglichkeiten zu fragen, die derartige Systeme bieten.» Der Forscher hat bereits Kontakt zu Unternehmen in der Chemiebranche aufgenommen. «Aber bis ein wirtschaftlich nutzbares Produkt vorliegt, wird es noch dauern.»

Die Basler Gruppe befindet sich in einer interessanten Lage. «Wir sind die einzigen, die über derartige Substanzen verfügen. Letztes Jahr haben wir lediglich die Machbarkeit bewiesen: ein natürliches Protein lässt sich in eine künstliche Polymerhülle einschliessen. Zahlreiche Kollegen hatten das für unmöglich gehalten. Jetzt gilt es, den Nutzen aufzuzeigen.» ■

Kontakt:

PD Dr. Wolfgang Meier, Institut für physikalische Chemie, Universität Basel, Klingelbergstrasse 80, 4056 Basel
Tel. 061 267 38 35
Fax 061 267 38 55
wolfgang.meier@unibas.ch
www.chemie.unibas.ch

Am Projekt Beteiligte:

Samantha Benito, Alexandra Graff, Julie Grumelard, Marc Sauer, Roxana Stoenescu, Michael Strobel.

Neue Bausteine für den Aufbau supramolekularer Strukturen

Für Reinhard Nesper, Professor für anorganische Chemie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, sind die derzeitigen Materialien nicht befriedigend. Durch die Einrichtung einer Bibliothek von Nanoteilchen hofft er, sie zu verbessern.

«**O**bwohl die Materialwissenschaft ein seit langem anerkannter Bereich ist, bin ich der Ansicht, dass die uns derzeit zur Verfügung stehenden Materialien nicht optimiert sind», erläutert Nesper. «Auf nanoskopischer Ebene bleibt noch viel zu tun: auf diesem Niveau sind die Materialien nur allzu häufig einfach das Ergebnis einer mehr oder minder zufälligen Anordnung von Teilchen unterschiedlicher Beschaffenheit und Grösse. Wenn man diese Materiale besser beherrschen würde, könnte man ihre Eigenschaften optimieren.» Zur Illustration seiner Ausführungen führt der Forscher eine kürzlich abgeschlossene Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut an. «Es ging darum, leistungsfähigere Batterien als die derzeit verfügbaren zu entwickeln. Wir haben neue Nanoteilchen synthetisiert, die zum Aufbau der Batterien verwendet werden können und diese verbessern. In fünf Jahren Arbeit konnten wir ein Material entwickeln, das nach wie vor auf der ganzen Welt das beste seiner Klasse darstellt.»

Anwendungsbereich:
Aufbau supramolekularer Strukturen.

Bessere Eigenschaften...

Ziel des vorliegenden Projekts ist nicht die Entwicklung eines bestimmten Materials und schon gar nicht einer Batterie. Vielmehr geht Nesper von dem Grundgedanken aus, dass diese winzigen Teilchen sich in zahlreichen Bereichen als nützlich erweisen könnten. «Über die neuen Eigenschaften hinaus, die sich aufgrund der Kleinheit ergeben, sind sämtliche an den derzeitigen Materialien zu beobachtenden Eigenschaften auch auf nanoskopischer Ebene vorhanden. Dort liegen sie jedoch in stärkerer Form vor.»

Von diesem Grundgedanken ausgehend, entwickeln die Zürcher Forscher eine Bibliothek der Nanoteilchen. Wie in einem Werkzeugkasten oder einem

Baumarktkatalog kann der Ingenieur dann gewünschtes Material und Eigenschaften auswählen.

...durch Veränderungen von Zusammensetzung, Oberfläche und Form

«Wir möchten eine Bibliothek von Nanoteilchen anlegen, die anisotrop sind – das heisst deren Eigenschaften je nach Beobachtungsrichtung variieren – und Oxide von Übergangsmetallen als Grundlage haben», führt der Forscher weiter aus. Diese Teilchen weisen erstaunliche Eigenschaften auf, die auf verschiedene Parameter zurückzuführen sind: manche kommen von ihrer Form, in Allgemeinen Röhren oder Stränge; andere von ihrer Zusammensetzung, im Wesentlichen Übergangsmetalle; wieder andere von ihrer nanoskopischen Grösse.

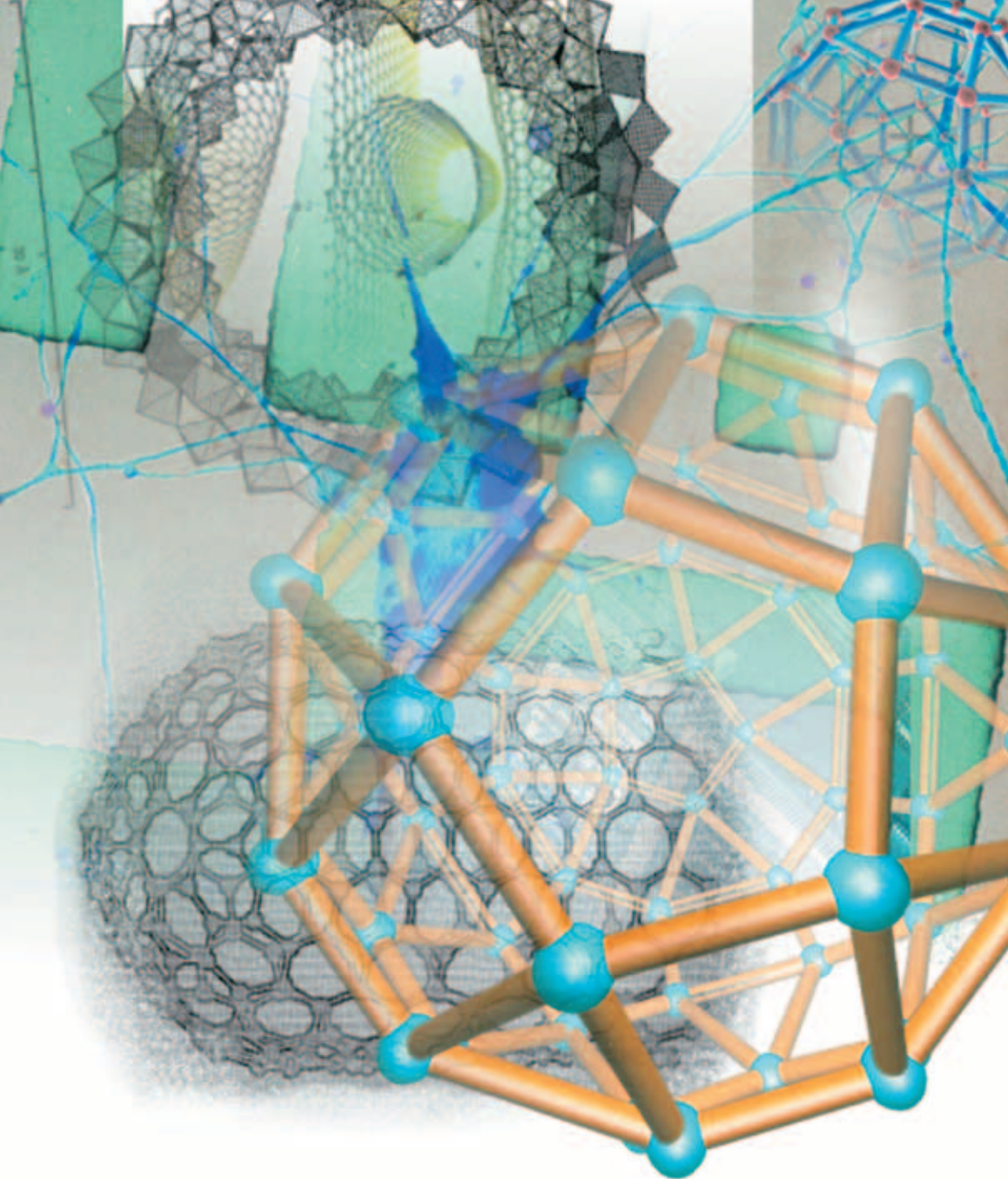
Die Behandlung der Oberfläche der Nanoteilchen stellt einen weiteren wichtigen Teil dieses Projekts dar. «Hierfür gibt es zwei Gründe», erläutert Nesper. «Die Veränderung ist wichtig im Hinblick auf eine spätere Kombination der Teilchen untereinander oder auf ihre Anordnung auf



Reinhard Nesper

1949 in Elze in Deutschland geboren. Er studierte Chemie an der Universität Münster und schloss seine Studien mit einer Doktorarbeit über Zinkoxide am Stuttgarter Max-Planck-Institut ab. Im Jahre 1989 habilitierte er sich an der Universität Stuttgart. Seit 1990 ist er Professor am Laboratorium für anorganische Chemie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Er hat dort den Bereich Festkörperchemie eingeführt.

«Die Materialien auf nanoskopischer Ebene beherrschen, um ihre Funktionen zu verbessern.»



Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

**Molekulare
Darstellung von
einigen Nano-
partikeln**

eine Oberfläche. Darüber hinaus kann sie dem Teilchen auch eine zweite Funktion verleihen.» Bei ein und demselben Nanoteilchen kann die Oberfläche auf unterschiedliche Weisen verändert werden, so dass es mehrere Funktionsmöglichkeiten aufweist.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten

«Wenn wir im Rahmen der Erstellung dieser Bibliothek auf ein Teilchen mit einer interessanten – optischen, magnetischen oder sonstigen – Eigenschaft stossen, suchen wir nach einem Partner zur Entwicklung eines Produkts», erläutert Nesper. «In dem Masse, wie

das Projekt voranschreitet, suchen wir nach Anwendungen.» Er erinnert allerdings daran, dass diese Arbeit in den Bereich der Grundlagenforschung gehört: «Besser ist man vorsichtig, wenn man von potentiellen Anwendungen spricht, denn die Menschen vergessen allzu rasch, dass es sich dabei nur um eine Möglichkeit handelt und erwarten die Marktreife binnen Jahresfrist.»

Im Allgemeinen verfolgt die Industrie die Forschung auf nanoskopischer Ebene mit grosser Aufmerksamkeit, da man spürt, dass die derzeitigen Technologien bald an ihre Grenzen stossen werden. «Die Unternehmen erwarten einen neuen Ansatz, neue Materialien, neue Bauweisen. Die in Zürich entwickelten Nanoteilchen könnten dazu die Bausteine liefern», schliesst Nesper. ■

Kontakt:

*Prof. Reinhard Nesper,
Laboratorium für anorganische
Chemie, ETH-Hönggerberg,
HCI H137, 8092 Zürich
Tel. 01 632 30 69
Fax 01 632 11 49
nesper@inorg.chem.ethz.ch
www.inorg.chem.ethz.ch/solid/home.html*

Am Projekt Beteiligte:

Fabian Bieri, Stefania Costanza,
Anton Ivantchenko, Frank
Krumeich, Christian Mensing,
Greta Patzke, Michael Woerle,
Jaroslaw Zygmunt.

Lanthanide und Flüssigkristalle: eine lichte Idee

Im Hinblick auf die Steigerung der Helligkeit von Flüssigkristallanzeigen arbeitet das Forscherteam um Claude Piguet, Professor an der Abteilung für Mineralchemie der Universität Genf, an der Integration eines bestimmten Typs chemischer Teilchen in Flüssigkristallmaterialien. Derzeit handelt es sich dabei zwar noch um Grundlagenforschung – doch schon bald könnte das Projekt auch auf das Interesse der Industrie stossen.



Claude Piguet

1961 in Genf geboren. Er studiert Chemie an der Universität Genf, wo er im Jahre 1989 den Doktorgrad mit einer Arbeit zur Koordinationschemie erwirbt. Im Rahmen dieser Arbeit wird er mit den Lanthaniden vertraut. Anlässlich eines Postdoc-Aufenthalts im Forscherteam von Professor Jean-Marie Lehn an der Universität Strassburg wird er in die supramolekulare Chemie eingeführt. Er wird an die Universität Genf berufen, zunächst als Oberassistent (1995), dann als ordentlicher Professor (1999), wo er die supramolekulare Chemie der Lanthanide erarbeitet.

«Immer wenn ich die Bildschirme tragbarer Computer sah, fragte ich mich, warum man eigentlich nichts mehr sieht, wenn man unter einem Blickwinkel von mehr als 10 oder 15 Grad darauf schaut», erläutert Piguet. «Als mir dann klar geworden war, dass das daher kommt, dass das schwache Licht dieser Bildschirme nur in einer Richtung verdichtet wird, fragte ich mich, wie man hier Abhilfe schaffen könne.»

Und so kam das Genfer Forscherteam auf den Gedanken, die Flüssigkristallmaterialien, aus denen die Flachbildschirme in der Regel hergestellt werden, mit bestimmten chemischen Substanzen zu dotieren, die das Licht in sämtliche Richtungen reemittieren.

Grün, Rot, Blau

«Man braucht drei Substanzen, von denen jede eine andere Farbe emittiert, um so per additiver Farbmischung zu

Anwendungsbereich:
Elektronische Anzeigen.

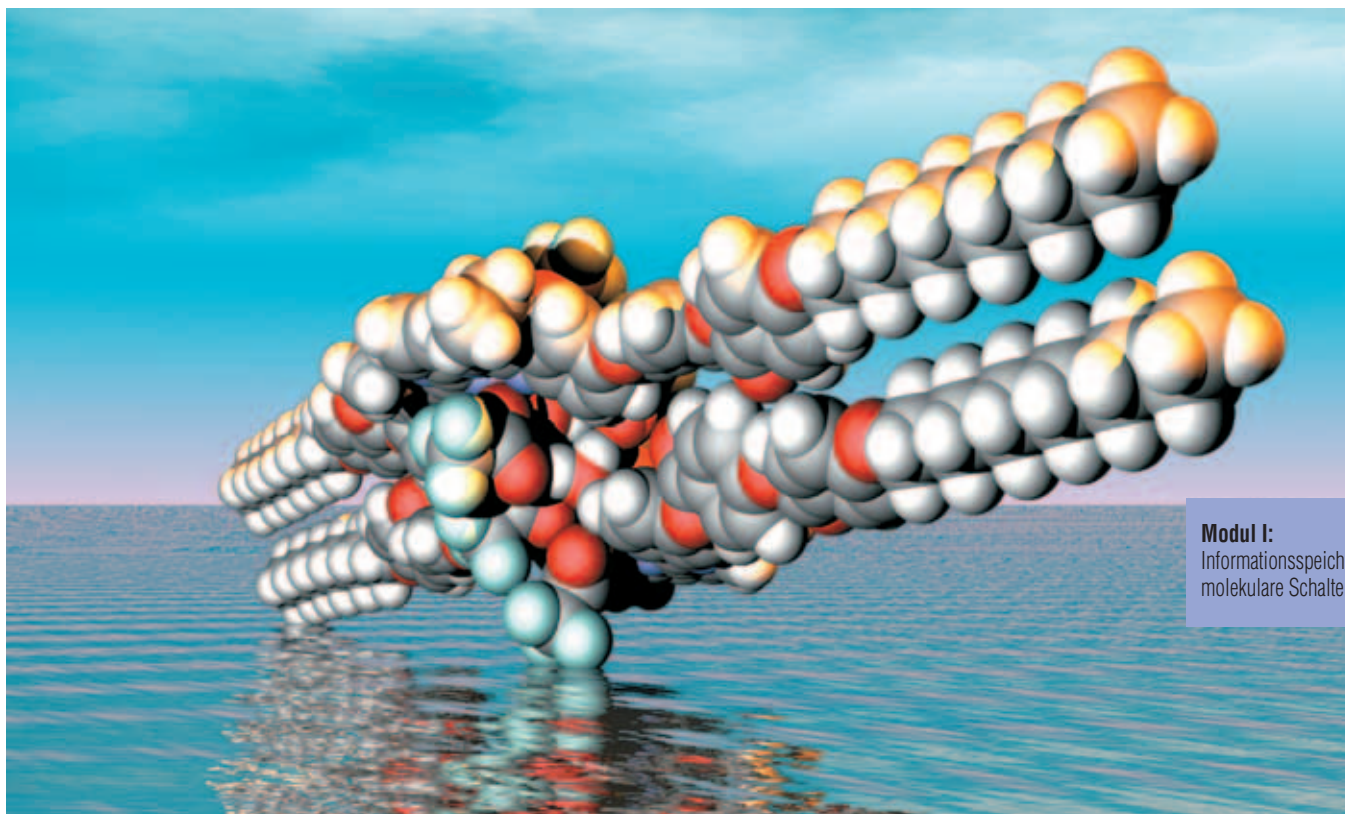
«Dieser induktive Ansatz ist spannend.»

Weiss zu gelangen – ungefähr so wie bei einer Fernsehbildröhre», führt Piguet weiter aus. Die chemischen Elemente aus der Familie der Lanthanide weisen diese Eigenschaften auf. Terbium (Tb) emittiert im Grünbereich und Europium (Eu) je nach Oxidationszustand im Rot- oder Blaubereich. Diese Substanzen werden bereits heute in bestimmten marktgängigen Produkten eingesetzt. Doch wie kann man sie in Flüssigkristalle integrieren?

«Schwierig ist diese Aufgabe deshalb, weil es sich bei den Lanthaniden um verhältnismässig voluminöse Atome handelt, im Gegensatz zu den in der Regel flachen, länglichen Molekulareinheiten, aus denen Flüssigkristallmaterialien aufgebaut sind. Die Lanthanide weisen daher gewissermassen eine natürliche Tendenz zur Desorganisation eines Flüssigkristallzustandes auf.»

Eine Aufnahmemöglichkeit für die Lanthanide schaffen

«Um diesem Phänomen entgegenzuwirken, entwickeln wir ein Molekül mit einem Behälter zur Aufnahme dieser Teilchen», erläutert Piguet. Es werden zwei Ansätze verfolgt. Ein Behälter in Bananen- oder Halbkreisform wird in Genf entwickelt, an einem anderen Behälter in Form eines Kranzes, das heisst eines Vollkreises, wird an der Universität Lausanne im Forscherteam von Prof. Jean-Claude Bünzli gearbeitet. «Zwei unterschiedliche Ansätze, die sich jedoch ergänzen», fügt Piguet mit Bezug auf die enge Zusammenarbeit hinzu.



Modul I:
Informationsspeicherung,
molekulare Schalter und Drähte

Struktur eines Lanthanidkomplexes in festem Zustand in Stäbchenform

«In beiden Fällen haben wir in einem ersten Schritt die Behälter synthetisiert und die Lanthanide in sie integriert. Nun heisst es überlegen, wie diese Grundeinheiten so ergänzt werden können, dass ihre supramolekulare Organisation einen Flüssigkristall ergibt.»

Ein induktiver Ansatz

Der Genfer Ansatz unterscheidet sich ganz wesentlich von dem üblicherweise in der Forschung angewandten Ansatz mit Versuchsreihen, bei denen eine grosse Anzahl von Verbindungen durchgetestet wird, um schliesslich eine mit den gewünschten Eigenschaften zu finden. «Wir suchen nicht um jeden Preis nach einer Anwendung. Was wir begreifen möchten, ist der zugehörige Mechanismus.» Den Worten des Forschers zufolge, ist dieser Ansatz riskanter aber zugleich wissenschaftlich wertvoller. «Wenn die Sache nicht klappt, kann man nicht einfach zum nächsten Molekül weitergehen. Vielmehr muss man begreifen, was nicht klappt, und sich fragen, durch welche Veränderungen man das Ganze zum Funktionieren bringen

könnte. Für uns als Forscher an der Universität ist dieser induktive Ansatz spannend.»

Fürs erste arbeitet die Gruppe von Piguet noch nicht mit der Industrie zusammen. «Die Industrie erwartet von uns den Beweis, dass die Sache klappt – das ist verständlich. Auf jeden Fall ist es besser, erst einmal zu warten, bevor man Kontakt zu einer Firma herstellt. Die akademische Freiheit ist von ganz wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung neuer Konzepte. In dem Masse, wie unsere Forschung voranschreitet, werden wir uns auch nach Umsetzungsmöglichkeiten im grossen Massstab fragen. Dann wird auch die Zusammenarbeit mit der Industrie interessant.»

Eine Idee im Hinterkopf

Das Programm des Nationalfonds fördert anwendungsorientierte Projekte, gewährleistet dabei jedoch gleichzeitig die nötige akademische Freiheit und Zeit zum Nachdenken. «Für mich ist dieses Konzept ideal. Ich konnte noch nie ein Forschungsvorhaben ausarbeiten, ohne im Hinterkopf eine Anwendungsidee zu haben, so entfernt sie auch sein mochte.»

Einige ausländische Forscherteams interessieren sich für dasselbe Thema. «Mich freut das, denn ich begreife Wettbewerb als etwas extrem Positives und Anregendes.» Das Rennen hat allerdings noch nicht richtig begonnen. «Es ist noch zu früh, das Forschungsfeld zu neu. Wenn erst einmal die ersten ermutigenden Ergebnisse vorliegen, wird zweifelsohne ein reges Nacheifern einsetzen.» ■

Kontakt:

Prof. Claude Piguet, Département de chimie minérale, analytique et appliquée, Université de Genève, quai E.-Ansermet 30, 1211 Genève 4
Tel. 022 702 60 34
Fax 022 702 68 30
claude.piguet@chiam.unige.ch
www.unige.ch/chiam/piguet

Am Projekt Beteiligte:

Jean-Marc Bénech, Gérald Bernardinelli, Jean-Claude Bünzli, Robert Deschenaux, Bertrand Donnio, Daniel Guillon, Hélène Lartigues, Olimpia Mamula, Pierre-Yves Morgantini, Homayoun Nozary, Jean-Pierre Rivera, Stéphane Suárez, Paul Tissot, Jacques Weber.

Moleküle zum Ein- und Ausschalten

Als Architekt des unendlich Kleinen entwickelt Peter Belser, Professor am Departement für Chemie der Universität Freiburg, Bauteile zur Erschliessung eines äusserst vielversprechenden Feldes: Molekularelektronik.

Miniaturisierung ist zweifelsohne das Leitmotiv der gegenwärtigen Technologien. Natürlich hat auch die Chemie an dieser Bewegung Anteil. Insbesondere dem Bau von Vorrichtungen oder Apparaturen auf molekularer Ebene kommt grosse Bedeutung zu. «Die supramolekulare Chemie kann bedeutende Fortschritte ermöglichen», urteilt Belser. «Während Moleküle nur an einfachen Reaktionen beteiligt sind, sind supramolekulare Systeme – Zusammensetzungen von Molekülen – in der Lage, komplexere Funktionen auszuführen und sich somit wie regelrechte Maschinen zu verhalten.»

«Demselben Phänomen begegnet man auch auf makroskopischer Ebene», führt der Forscher weiter aus. «Ein Fön besteht aus einem Heizelement, einem Gebläse und einem Schalter... Keines dieser Elemente kann allein die Funktion eines Föns erfüllen. Zu diesem Zweck muss man sie zusammensetzen.»

Anwendungsbereiche: Molekularelektronik, Informationsspeicherung.

Peter Belser

1944 in Basel geboren. Nach einer Lehre beim Pharmaunternehmen Ciba und einem Chemiediplom an der Ingenieurschule Winterthur (die inzwischen eine Teilschule der FH Zürich geworden ist) nahm Belser ein Chemiestudium an der Universität Freiburg auf, das er 1979 mit einer Doktorarbeit abschloss. Seiner Freiburger Heimatuniversität treu, trat er 1981 eine Stelle als Oberassistent am Institut für anorganische Chemie an. 1992 wurde er zum assoziierten Professor berufen. Seine Forschungsarbeit stellt eine Brücke zwischen der Photochemie und der Chemie der Übergangsmetalle her.



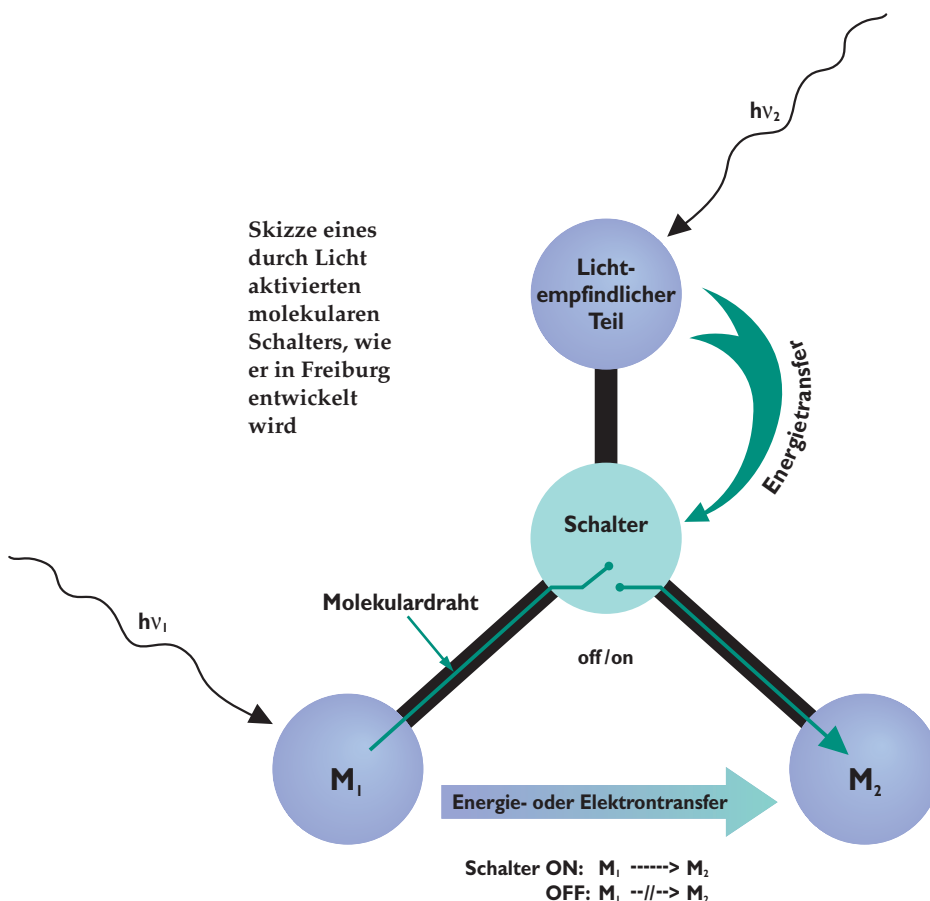
«Wie ein winziger Transistor.»

Durch Licht aktivierte Vorrichtungen

So originell das Freiburger Projekt auch sein mag – auf die Entwicklung eines molekularen Föns zielt es denn doch nicht ab. Vielmehr wird die Schaffung supramolekularer Zusammensetzungen angestrebt, die schaltbar sind. Das Besondere an einem derartigen System liegt darin, dass es zwei verschiedene Zustände annehmen kann. Mithilfe eines externen Stimulus kann zwischen den Zuständen umgeschaltet werden. «Wenn einer der beiden Zustände leitend und der andere isolierend ist, erhält man ein elektronisches Bauteil, dessen Funktion stark an einen

Transistor erinnert – und das in weit aus geringeren Abmessungen», erläutert Belser. «Das Potenzial ist enorm, doch die Anwendungen liegen noch in ziemlicher Ferne.»

Auf Grundlagenebene entwickelt das Freiburger Forscherteam daher vier verschiedene supramolekulare Systeme. «Jedes Mitglied des Teams widmet sich einem anderen System.» Allerdings weisen die vier Vorrichtungen durchaus Gemeinsamkeiten auf. «Jedes der Systeme wird durch Licht aktiviert bzw. umgeschaltet. Ferner ist in jedes System ein molekularer Baustein zur Lichtabsorption integriert:



Modul II:
Elektronen- und
Photonen-Transfer

der photosensible Teil. Bei diesem Molekül handelt es sich um einen Metallkomplex aus der Familie des Ruthenium-tris-bipyridin, eines Moleküls das vor rund dreissig Jahren entdeckt wurde und auf das sich lange Zeit grosse Hoffnungen hinsichtlich der Umwandlung von Sonnenenergie in chemische oder elektrische Energie richteten.»

Molekularer Schalter

Durch die Lichtabsorption entsteht im photosensiblen Teil ein Energieüberschuss. Dieser wird an den schaltbaren Teil weitergeleitet, so dass dessen Eigenschaften verändert werden. Diese Änderung geometrischer, chemischer oder sonstiger Art stellt das Kernprinzip der so genannten schaltbaren Vorrichtungen dar.

Eine der vier in Freiburg entwickelten Vorrichtungen könnte als molekularer elektronischer Schalter eingesetzt werden. In einer derartigen Vorrichtung dient die durch den photosensiblen Teil weitergeleitete Energie entweder

zur Herstellung oder zur Unterbrechung einer chemischen Verbindung. Bei hergestellter Verbindung steht der Schalter gewissermassen auf «ON», und ein Elektron, das heisst Strom, kann durch die Vorrichtung fliessen. Bei unterbrochener Verbindung steht der Schalter auf «OFF», und der Strom kann nicht mehr fliessen. «Der Übergang zwischen «ON» und «OFF» wird durch einen Lichtstrahl herbeigeführt. Zur Herstellung der Verbindung muss man das System einer violetten Strahlung (400 nm) aussetzen und zur Unterbrechung einer orangen (600 nm).»

Im internationalen Vergleich beneidenswerte Situation

Die Freiburger Forscher haben noch weitere Projekte in petto. «Eines davon könnte ein System zur Informationsspeicherung ergeben, in dem die Information mithilfe von Licht geschrieben, gelöscht und gelesen wird. Ein anderes könnte die Speicherung von Sonnenenergie ermöglichen.»

Als Angehöriger der wissenschaftlichen Kommissionen zahlreicher Fachzeitschriften ist Belser über die internationale Lage bestens im Bilde: «In diesem Bereich sind zahlreiche Forschergruppen aktiv. Glücklicherweise können wir uns dank der Komplexität unserer Systeme und dank unserer langen Erfahrung bei der Synthese in einer beneidenswerten Position halten.» ■

Kontakt:

Prof. Peter Belser, Departement für Chemie, Universität Freiburg, chemin du Musée 9, 1700 Freiburg
Tel. 026 300 87 39
Fax 026 300 97 38
peter.belser@unifr.ch
www-chem.unifr.ch/ac/PB.html

Am Projekt Beteiligte:

Vincent Adamo, Yoel Chriqui, Luisa Decola, Manuel Querol Sans, Silvia Roma.

«Energy collection, transport and trapping by supramolecular organization of dyes in hexagonal zeolite nanocrystals.»

Antennensysteme für Lichtenergie

Die Forschergruppe von Prof. Gion Calzaferri an der Universität Bern baut supramolekulare Antennensysteme auf, die Lichtenergie aufnehmen und die Energie strahlungslos an gezielte Akzeptormoleküle weiterleiten. Im internationalen Vergleich ist das Berner Antennensystem das weitaus erfolgreichste. Mögliche Anwendungsbereiche sind Detektionssysteme, Solarzellen sowie Bildschirme.

Grüne Pflanzen verfügen über Antenneneinheiten aus einigen 100 bis 1000 Chlorophyllmolekülen. Sie fangen das Licht ein und leiten es an die Reaktionszentren der Pflanze weiter, wo chemische Reaktionen ausgelöst werden. «Wir machen im Labor ein photonisches Antennensystem, das anders aufgebaut ist, aber die gleiche Funktionalität hat und sind dabei sehr nahe an das natürliche System herangekommen», freut sich Calzaferri. Seine Antennensysteme fangen Licht ein und leiten die enthaltene Energieportion strahlungsfrei von Molekül zu Molekül weiter. Dabei treten keine freien Photonen auf. Für den Systemaufbau verwendet der Berner Forscher zylindrische Zeolithkristalle, deren Länge von 30 bis 3000 Nanometer variiert. Das Kristallinnere besteht aus exakt parallel angeordneten Röhren. Ein Kristall von 600 nm Durchmesser besteht aus rund 100 000 Röhren. «Wir füllen die Röhren mit

Farbstoffmolekülen, die so gross sind, dass sie gerade noch in die Röhre hineingelangen können. Dadurch ergeben sich in jeder Röhre eine lineare Anordnung von Farbmolekülen und für den Gesamtkristall gezielt angeordnete Farbzonen», erklärt Calzaferri. Die Forscher seiner Gruppe sind inzwischen soweit fortgeschritten, dass sie gezielt beliebige Farbstoffsequenzen aufbauen können.

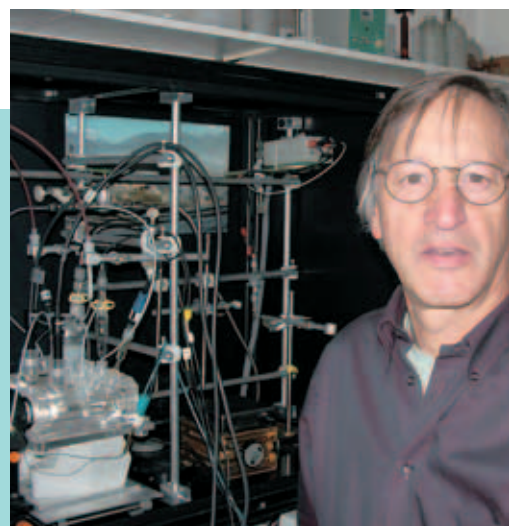
Beweis für den Energietransfer

Um den Energietransfer experimentell zu beweisen, arbeitet Calzaferri mit zwei Typen von photonischen Antennen (siehe Darstellung gegenüberliegende Seite). Der «normale» Typ (links) enthält im zentralen Teil des

Kristalls blaue Farbe, die an beiden Enden von einer roten Farbzone abgeschlossen ist. Beim «inversen» Typ verläuft die Farbsequenz gerade umgekehrt. Werden nun gezielt die blauen Zonen mit Licht angeregt, ist nicht nur bei den blauen Zonen Lumineszenz beobachtbar, sondern auch bei den roten. «Mit den geeigneten spektroskopischen Methoden können wir zeigen, dass die Energieportionen, die in der blauen Zone aufgenommen werden, von Molekül zu Molekül bis zur roten Zone wandern und dort Lumineszenz erzeugen», resümiert Calzaferri.

Gion Calzaferri

Chemiestudium und 1971 Doktorat an der Uni Fribourg. Nach dem Postdoc bei Edgar Heilbronner und Rolf Gleiter in Basel folgten zwei Jahre pharmazeutische Forschung bei Ciba-Geigy. Seit 1973 arbeitet Gion Calzaferri an der Universität Bern und ist seit 1988 Professor für physikalische Chemie. Forschungsaufenthalte am National Renewable Energy Laboratory in Golden, Colorado, an der Cornell University, Ithaca, New York und an der Ecole Supérieure de Cachan, Paris. Forschungsinteressen: supramolekular organisierte Moleküle, Cluster und Komplexe in Zeolithkristallen; künstliche Antennensysteme für Lichtabsorption, -transport und -einfang; photochemische Umwandlung und Speicherung von Solarenergie.



«In der Funktionalität sind wir dem natürlichen System sehr nahe gekommen.»

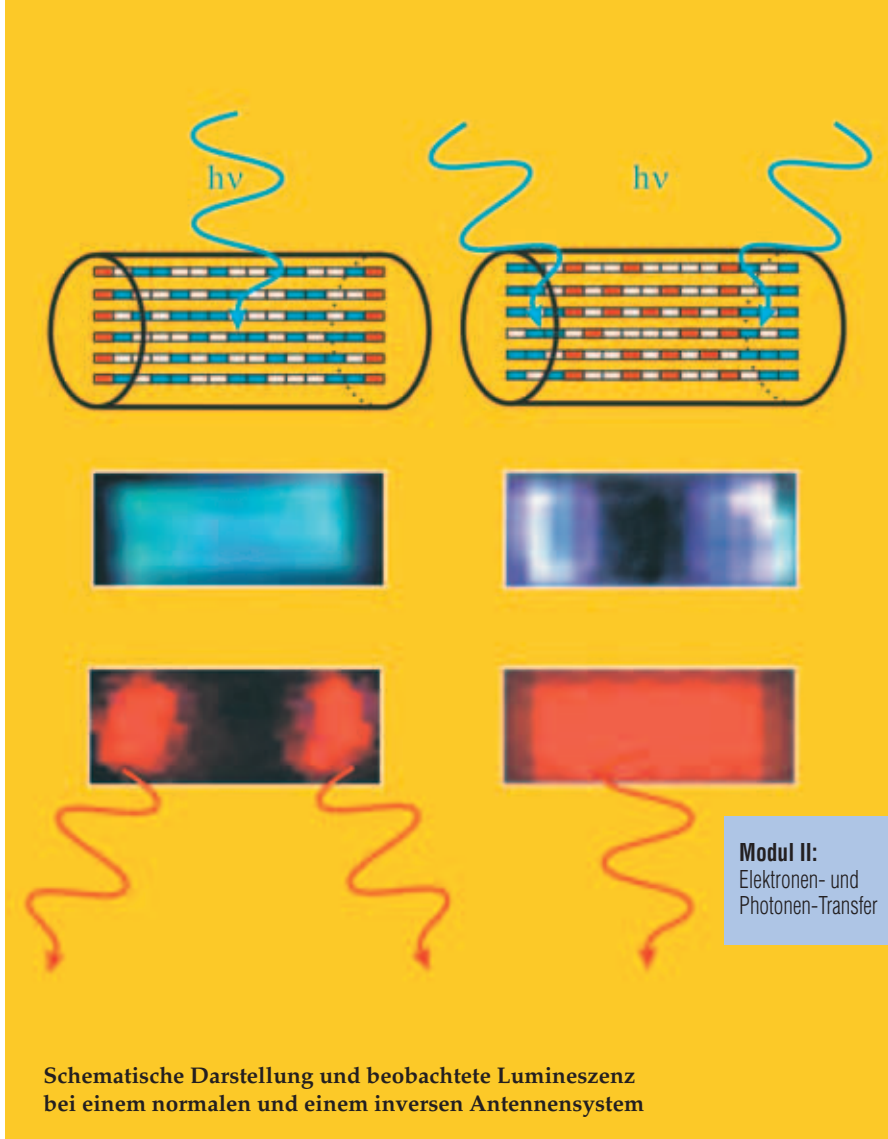
Anwendungsbereiche:
Sensoren, Solarzellen, Bildschirme.

Einfacher, effizienter Ansatz

«Es gibt zahlreiche Projekte namhafter internationaler Forschergruppen, die ebenfalls Antennensysteme bauen wollen. Aber unser Ansatz scheint der weitaus einfachste und erfolgreichste zu sein. Alle anderen sind mit grossem synthetischem Aufwand verbunden. Das hat dazu geführt, dass unsere Arbeiten inzwischen international beachtet werden», stellt der Berner Professor mit Genugtuung fest.

Interessante Perspektiven

Eine der grössten Herausforderungen besteht darin, am Röhrende, also auf der Oberfläche, einen möglichst guten Energierezeptor zu platzieren, die Energie dorthin zu bringen und für weitere Reaktionsschritte bereit zu stellen. Dazu Calzaferri: «Wenn dies gelingt, kann ich im Antennensystem beispielsweise mit 100 000 Molekülen Licht absorbieren und die ganze gesammelte Energie auf ein Molekül an der Oberfläche fokussieren. Das entspricht einem Verstärkungsfaktor von 100 000. Das könnte beispielsweise für Sensoren in Detektoren interessant sein.» Ambitiös, aber vorstellbar sind auch die Anwendung des Antennensystems als dünne Schicht auf Solarzellen mit sehr dünnen Halbleiterschichten sowie für Bildschirme. Als Markstein auf dem noch langen Weg zu den Anwendungen wurde im November 2000 in Zusammenarbeit mit der Technologietransferstelle Unitecra eine erste Patentanmeldung für Nordamerika verwirklicht.



Gutes Team

Calzaferri und seine Mitarbeiter sind schneller vorangekommen als erwartet. Seine Strategie für die nächste Projektphase hat zum Ziel, wirksamere Farbstoffmoleküle aufzubauen. Die Zusammensetzung seiner Gruppe, physikalisch und experimentell orientierte Chemiker, ist eine gute Voraussetzung für weitere Erfolgsmeldungen. «Wichtig ist für uns eine gute Ausbildung als Chemiker oder Experimentalphysiker. Rein synthetische Doktorarbeiten gibt es bei uns nicht», bestätigt er. Für die analytischen Untersuchungen kooperiert er mit Prof. Alfred Meixner, Universität Siegen (Deutschland), Robert Pansu, Ecole Supérieure de Cachan, in Paris sowie mit Prof. Tjeerd Schaafsma, Wageningen University (Niederlande). ■

Kontakt:

Prof. Gion Calzaferri, Departement für Chemie und Biochemie, Universität Bern, Freiestrasse 3, 3000 Bern
Tel. 031 631 42 36
Fax 031 631 39 94
gion.calzaferri@iac.unibe.ch
www.dcb.unibe.ch/groups/calzaferri

Am Projekt Beteiligte:

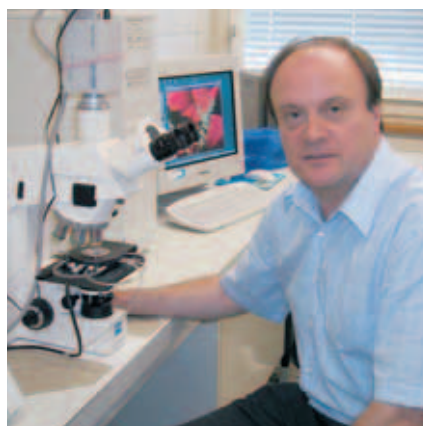
Antonio Currao, André Devaux, Stephan Glaus, Stefan Huber, Abderrahim Khatyr, Claudia Leiggenger, Hubert Maas, Alfred Meixner, Marc Meyer, Robert Pansu, Michel Pfenninger, Tjeerd Schaafsma, David Schürch.

Komplexe Moleküle, verschworene Gemeinschaften...

In einem einzigen Material die Eigenschaften von drei bekannten chemischen Systemen bündeln – dieses Ziel haben sich Prof. Robert Deschenaux und sein Forscherteam am Institut für Chemie der Universität Neuenburg gesteckt. Zwar sind bereits Anwendungen denkbar, doch ihr supramolekularer Ansatz entstammt der Grundlagenforschung.

Das Besondere an einer supramolekularen Zusammensetzung ist, dass sie über eine komplexe Funktion verfügt, die ihre molekularen Bestandteile einzeln nicht aufweisen – die Umsetzung, wenn man so will, des holistischen Konzepts, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Möglicherweise durch diesen Ausspruch angestachelt, kam Deschenaux auf den Gedanken, in einem neuen Material die Eigenschaften der Polymere, der Flüssigkristalle und des Ferrocens zu bündeln.

Die Idee ist reizvoll, doch die Umsetzung keineswegs trivial. «An dieser Stelle kommt die supramolekulare Chemie ins Spiel, gewissermassen die Soziologie der Moleküle», erläutert Deschenaux. «Es gilt, für das harmonische Zusammenleben aller Einheiten zu sorgen, aus denen sich das supramolekulare Material zusammensetzt. Wenn man Moleküle auf eine bestimmte Art zusammensetzt, erhält man beispielsweise eine flüssigkristal-



«Ich definiere meine Arbeit als Grundlagenforschung in Anwendungsbereichen.»

Robert Deschenaux

1957 in Le Locle geboren. Er studierte Chemie an der Universität Neuenburg, wo er 1983 mit einer Arbeit in anorganischer Chemie über die Kupferkomplexe den Grad des Dr. rer. nat. erwarb. Nach drei Postdoc-Aufenthalten, u. a. im Forscherteam von Professor Jean-Marie Lehn an der Universität Strassburg, arbeitete er etwas mehr als ein Jahr bei Ciba-Geigy. Eine Praxiserfahrung, der er sehr viel verdankt. Seit 1991 ist er ordentlicher Professor für organische Chemie an der Universität Neuenburg. Seine Forschungen beziehen sich sämtlich auf organisierte supramolekulare Materialien.

line Organisation – doch bereits eine geringfügige Änderung am Molekül kann diese Anordnung verhindern. Wir wollen verstehen, weshalb das so ist.»

Ferrocen & Co.

Der erste Schritt des Neuenburger Projekts liegt in der Herstellung der Moleküleinheit, die die Basis für das gewünschte Material darstellt. Diese enthält Ferrocen. Dank seiner einzigartigen Struktur – ein Eisenatom in Sandwich-Anordnung zwischen zwei organischen Ringen – weist Ferrocen ganz besondere elektrochemische wie optische Eigenschaften auf. «Wir hoffen, diese Materialien auch im makroskopischen Material wiederzufinden», präzisiert Deschenaux.

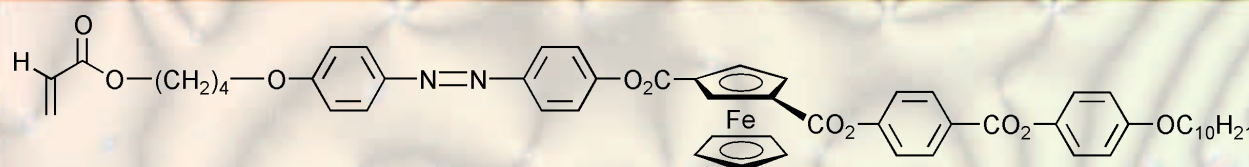
Die beiden anderen in einer molekularen Einheit jeweils vorhandenen Elemente sollen in einem ersten Schritt ermöglichen, dass das Molekül polymerisiert, und im zweiten, dass es einen Flüssigkristall ausbildet. «Derzeit beschäftigen wir uns mit der Beziehung zwischen der Struktur des Moleküls und der Organisation auf supramolekularer Ebene. Wenn wir diese Etappe bewältigt haben, werden

wir uns dem Zusammenhang zwischen der Organisation des Materials und dessen Eigenschaften widmen.»

Nichts dem Zufall überlassen

«Ein anderer Ansatz wäre gewesen, eine grosse Anzahl an Molekülen zu synthetisieren, bis man die gewünschten mikroskopischen wie makroskopischen Eigenschaften erzielt», erklärt Deschenaux. Doch in Neuenburg verwarf man diesen Ansatz. «Wir gehen nicht einfach von einem beliebigen Molekül aus und sagen uns: <Schauen wir mal, was das so leisten kann.> Wir streben eine ganz bestimmte Eigenschaft an und suchen nach dem Molekül, mit dem wir sie erzielen können.»

Anwendungsbereiche: Elektronische Anzeigen, Molekularelektronik.



Polymere

Diese derart spezifische Eigenschaft wurde daher ganz zu Beginn des Projekts definiert. «Wir möchten ein polymeres Flüssigkristallmaterial entwickeln, das über die Eigenschaft der Schaltbarkeit verfügt», erläutert Deschenaux. «Ein derartiges Material kann zwei verschiedene Zustände annehmen. Infolge einer Reaktion auf einen externen Stimulus – Lichtabsorption, Anlegen einer Spannung auf die Enden, ... – schaltet das Material zwischen diesen beiden Zuständen hin und her.»

Zahlreiche Anwendungen...

Diese Art von Material dürfte sich für eine Vielzahl von Anwendungen eignen, in so verschiedenartigen Bereichen wie elektronischen Anzeigen, Bioanalytik, Datenspeicherung, ... «Ich definiere meine Arbeit als Grundlagenforschung in Anwendungsberei-

chen. Eine Zusammenarbeit mit der Industrie ist daher vorstellbar. Es liegt an uns, die Grundlagen der Materialien und ihrer Eigenschaften aufzuzeigen – davon ausgehend muss die Industrie Technologien entwickeln.»

...und Möglichkeiten zur Zusammenarbeit

Der Bereich Flüssigkristalle ist weitläufig. «Wir können hier nicht sämtliche Aspekte abdecken», stellt Deschenaux fest. «Wir arbeiten daher mit Gruppen in der Schweiz und im Ausland zusammen, insbesondere zur Bestimmung der dreidimensionalen Organisation des Materials mithilfe der Technik der Röntgenstrahlenbeugung. Wir in Neuenburg kümmern uns um die Konzeption der Moleküle.» ■

Textur der nematischen Phase eines Ferrocen-Monomers betrachtet durch ein Mikroskop mit polarisiertem Licht. Aus diesem Monomer sollen polymere Flüssigkristalle gewonnen werden.

Kontakt:

Prof. Robert Deschenaux, Institut de chimie, Université de Neuchâtel, av. Bellevoaux 51, case postale 2, 2007 Neuchâtel
Tel. 032 718 24 27
Fax 032 718 25 11
robert.deschenaux@ich.unine.ch
www.unine.ch/chim/Des1.html

Am Projekt Beteiligte:

Julie Brettar, Thierry Chuard, John Goodby, Daniel Guillon, Marjorie Séverac, Antonio Togni.

DNS: Das Silizium der Zukunft?

Am Institut für organische Chemie der Universität Basel untersucht das Forscherteam von Prof. Bernd Giese die Leitereigenschaften der DNS. Es geht um viel – denn der Übergang von der Mikro- zur Nanoelektronik erfolgt zwar langsam aber unvermeidlich.

Getreu dem berühmten Moore'schen Gesetz war bei den Bestandteilen elektronischer Geräte im Laufe der letzten zehn Jahre eine drastische Verkleinerung festzustellen. Diese Miniaturisierung wird noch weiter gehen. Daher ist es unbedingt notwendig, den Elektronentransfer auf molekularer Ebene zu begreifen: ein Transfer, der oft stark abweicht von den bisher durch die Mikroelektronik genutzten Wegen.

Von dieser Feststellung ausgehend, untersucht das Basler Forscherteam den Ladungstransport in der DNS, der Trägerin der genetischen Information. «Das Hauptziel dieses Projekts ist, herauszufinden, ob die DNS sich als Material zur Elektrizitätsleitung eignet, das heisst gewissermassen als Draht fungieren kann», erläutert Giese. «Diese Frage wird schon seit Anfang der Neunzigerjahre rege diskutiert.»

Eine äusserst bedeutsame Entdeckung

Die Arbeit des Basler Forscherteams kommt gut voran. «In einem kürzlich in der Zeitschrift «Nature» veröffentlichten Artikel», erzählt Giese, «beschreiben wir den Transport einer positiven Ladung in der DNS über eine grosse Entfernung. Bisher hatten wir gedacht, die DNS sei nur über sehr kurze Entfernungen leitend. Wir konnten zeigen, dass die Leitfähigkeit bis zu einer bestimmten Entfernung abnimmt, dann aber praktisch konstant bleibt. Die Transfargeschwindigkeit der Ladung ist dann nicht mehr besonders hoch – sie liegt im Mikrosekundenbereich – aber sehr effizient.»

Diese Entdeckung ist für die wissenschaftliche Gemeinschaft von grosser Bedeutung. Sie eröffnet dank ihrer neuen Interpretation des Ladungstransfer-Mechanismus interessante Perspektiven für den Einsatz der DNS. Bis zur Antwort auf die Frage, ob die DNS sich zum Einsatz in der Elektronik eignet und ob sie in der Nanoelektronik von Morgen das Silizium der Mikroelektronik ersetzen wird, wie manche Forscher schon heute meinen, liegt noch ein gutes Stück Weg. Giese hütet sich jedoch davor, diesen überhastet zu gehen: «Von der Antwort auf diese Frage sind wir noch weit entfernt. Wir stecken noch mitten in der Grundlagenforschung.»

Gesundheitserhaltende Ladungstransfer

Die Informationen, die wir diesen Forschungen zur DNS verdanken, erweisen sich auch für das Verständnis eines ganz anderen Phänomens von zentraler Bedeutung. Der Ladungstransfer-



Schematische Darstellung des Ladungstransfers in der DNS

Mechanismus in der DNS verschafft Einblicke in Krankheiten wie Parkinson oder Alzheimer, die mit Schädigungen der DNS durch Sauerstoff zusammenhängen. «Wie so oft in der Wissenschaft, führt Grundlagenforschung in einem Bereich zu Erkenntnissen, die ganz andere Bereiche berühren.»

Anwendungsbereich:
Molekularelektronik.



«Forschung führt nicht immer zum ursprünglich angestrebten Ziel.»

Bernd Giese

1940 in Hamburg geboren. Er studierte Chemie an den Universitäten Heidelberg, Hamburg und München. 1969 erlangt er an der Universität München mit einer Arbeit im Bereich organische Chemie den Dokortitel. 1989 wird er zum ordentlichen Professor an das Institut für organische Chemie der Universität Basel berufen. Seine Forschung ist im Wesentlichen den Radikalreaktionen in biologischen Systemen gewidmet.

Modul II:
Elektronen- und
Photonen-Transfer

Aufgrund der starken Sauerstoffkonzentration und der dauernden Präsenz von Licht ist unser Lebensraum als sehr aggressiv zu betrachten. Diese Konstellation kann zu einer Oxydation bestimmter Moleküle am lebenden Organismus führen. Wenn die DNS durch dieses Phänomen betroffen wird, kann es zu einer Mutation kommen. Diese hat schwerwiegende Auswirkungen, wenn sie in einer der so genannten kodierenden Sequenzen der DNS stattfindet. Wenn die positive Ladung dagegen durch den Leitungstransfer auf eine sogenannte nicht-kodierende Sequenz abgeleitet wird, dann bleibt die Mutation folgenlos. Man kann daher annehmen, dass die

Ladungstransfer die DNS vor schädlichen Mutationen schützt. Diese brandneue Theorie trägt den englischen Namen «cathodic protection of genes» und stellt in wissenschaftlichen Kreisen derzeit lediglich eine Vermutung dar.

Von Anwendungen träumen

Eines der langfristigen Ziele dieser Forschung ist die Nutzung der DNS in der Nanoelektronik. Giese ist deshalb vor allem bestrebt, so viele Grundlageninformationen wie möglich über diese Struktur zu erlangen. «Als Chemiker versuchen wir, unsere Umwelt auf molekularer Ebene zu begreifen. Erst nachher werden wir von Anwendungen träumen.» Trotzdem sind die Anwendungen vielleicht nicht so weit entfernt, denn eine Reihe von Wissenschaftlern fragt sich,

ob die DNS in Zukunft das Silizium ersetzen wird. Giese und sein Forscherteam leisten dazu einen wichtigen Beitrag. ■

Kontakt:

Prof. Bernd Giese, Institut für organische Chemie, Universität Basel, St.-Johanns-Ring 19, 4056 Basel
Tel. 061 267 11 06
Fax 061 267 11 05
bernd.giese@unibas.ch
www.chemie.unibas.ch/~giese/index.html

Am Projekt Beteiligte:

Anne-Kathrin Köhler, Maria E. Michel-Beyerle, Martin Spormann, Stephan Wessely.

Am Treffpunkt zwischen Chemie und Physik

Hans-Joachim Güntherodt, ordentlicher Professor am Institut für Physik der Universität Basel, nutzt das Potenzial der Raster-Mikroskopie zur Entwicklung von supramolekularen Zusammensetzungen, die den noch jungen Bereich der Molekularelektronik voranbringen sollen.

«Durchstreift man die Geschichte der Elektronik, stösst man ganz am Anfang auf die Vakuumröhren», erläutert Güntherodt. «Schritt für Schritt wurden diese durch Transistoren ersetzt, die wiederum den integrierten Schaltungen weichen mussten, die heute dominieren: immer kleiner und immer leistungsfähiger. Ihre Miniaturisierung wird sich jedoch nicht bis ins Unendliche fortsetzen lassen. Zahlreiche Wissenschaftler haben wie wir die Absicht, die derzeitigen integrierten Schaltungen durch Molekularelektronik zu ersetzen.»

Gesucht sind Moleküle, die zwischen zwei Zuständen, oder in Analogie zur Informatik ausgedrückt, zwischen 1 und 0 umschalten können. «In jüngster Zeit hat die Zusammenarbeit zwischen der Universität von Kalifornien in Los Angeles und der Firma Hewlett Packard zu einem besonderen Molekül geführt, Rotaxan. Doch niemand weiss, welches Molekül die Schaltfunktion am besten erfüllen kann. Diese Frage bleibt offen.»

Anwendungsbereich:
Molekularelektronik



Welche Molekülfamilie eignet sich?

Für die Basler Forschergruppe kann die Antwort nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Chemie und Physik gefunden werden. «Experten in synthetischer Chemie – nämlich Prof. Edwin Constable, früher an der Universität Basel jetzt Birmingham, sowie Prof. François Diederich und Prof. Dieter Seebach an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich – erarbeiten für uns verschiedene Moleküle, die sich für unsere Bedürfnisse eignen könnten», führt Bianca Hermann weiter aus, die in der Forschergruppe von Güntherodt habilitiert und als wissenschaftliche Leiterin des vorliegenden Projekts fungiert.

«Um uns dem Problem zu nähern, untersuchen wir derzeit vier verschiedene Molekülfamilien: Dendrimere, oder «Kaskadenmoleküle», wegen ihrer äusserst zahlreichen Verzweigungen; Fullerenliganden; Metallkomplexe; Farbstoffkomplexe. Jede dieser vier Familien weist interessante

«Wir wollen die integrierten Schaltkreise durch Molekularelektronik ersetzen.»

Hans-Joachim Güntherodt

1939 in Suhl geboren. Er studierte Physik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, wo er mit einer Doktorarbeit über elektrische Eigenschaften von Flüssigmetallen abschloss. Im Jahre 1974 wurde er als ordentlicher Professor an die Universität Basel berufen. Im Rahmen seiner Forschungen wendet er die jüngsten Entwicklungen der lokalen Rastersondenmikroskopie auf die Physik, die Chemie und die Biologie an. Seit 2001 steht er dem Nationalen Forschungsschwerpunkt «Nanoscale Sciences» vor.

elektronische Eigenschaften auf. Wir wissen noch nicht, welche sich am besten für unser Projekt eignet. Je nach Ergebnis werden wir uns vielleicht auf eine einzige von ihnen konzentrieren.»

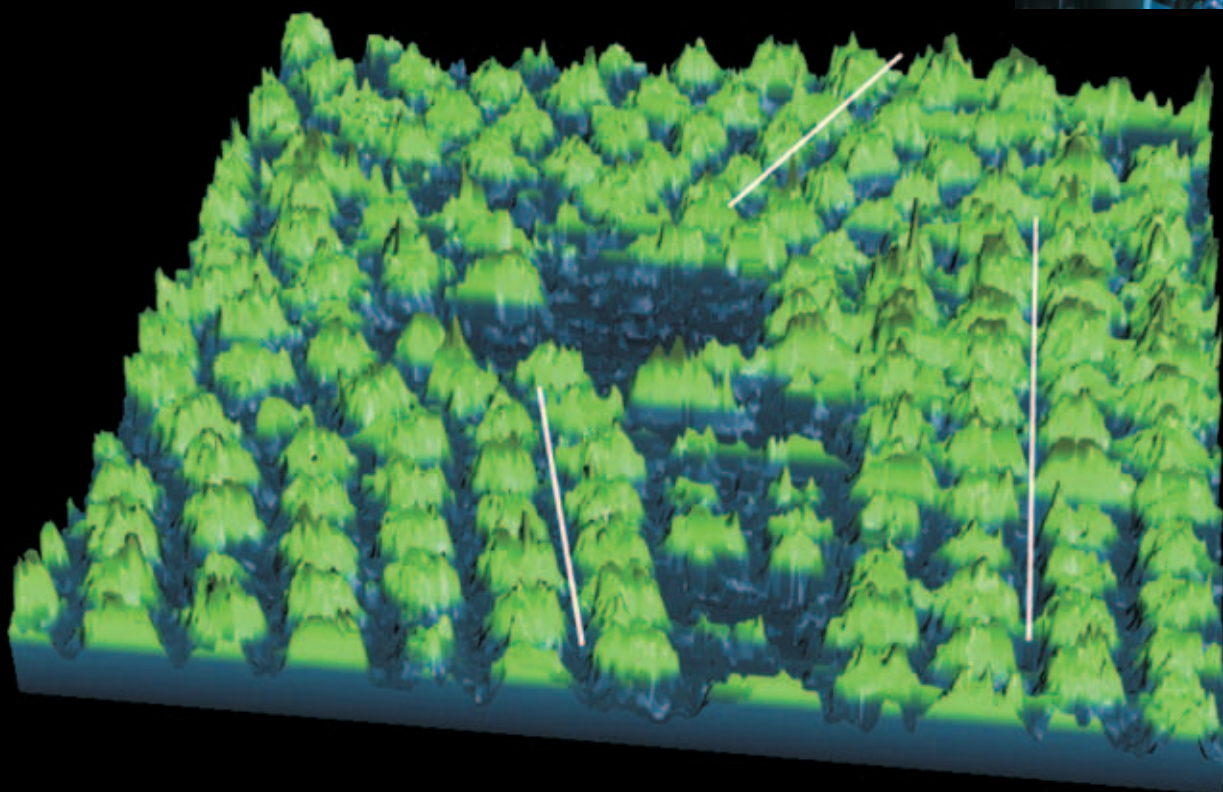
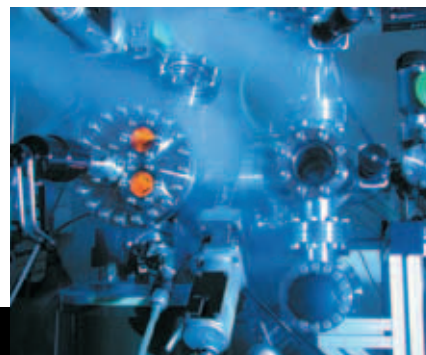
Supramolekulare Filme

«Sobald die Chemiker die Moleküle gefunden haben, besteht unsere Arbeit als Physiker darin, sie in supramolekularen Aufbauten in Form von Filmen anzuordnen», erläutert Bianca Hermann. «Da diese Moleküle zum Verdampfen zu gross sind, werden sie gelöst und auf einer leitenden Oberfläche abgelagert.»

Die supramolekulare Anordnung wird anschliessend mit Hilfe von Raster-Tunnel- oder Raster-Kraft-Mikrosko-

pie abgebildet, idealen Instrumenten für den nanoskopischen Bereich, die in den Achtzigerjahren in den Labors von IBM in Rüschlikon entwickelt wurden. «Wir können so die Struktur unserer Filme auf molekularer Ebene sichtbar machen. Entsprechend unseren Beobachtungen, suchen wir anschliessend

ein Molekül zum Umschalten veranlasst wird, könnte auch von der Spitze des Mikroskops ausgehen», fügt Bianca Hermann hinzu. «Auf diese Weise könnte eine Modifikation nicht nur in einer Gesamtheit von Molekülen, sondern präzise an einem Einzelmolekül durchgeführt werden.»



Modul II:
Elektronen- und
Photonen-Transfer

Raster-
Mikroskope
ermöglichen
die Beobach-
tung der
Struktur von
Materialien
auf molekularer
Ebene und eignen
sich auch zu
deren Modifi-
kation

eine Methode zur effizienten Herstellung optimal zusammengesetzter Molekülfilme.»

Eine Billion Moleküle pro cm²

Doch die Originalität und das Potenzial des Basler Projekts gehen über Synthese und Charakterisierung supramolekularer Filme hinaus. In einem nächsten Schritt sollen die Techniken der Raster-Mikroskopie nicht mehr nur zur Beobachtung des Films sondern zu dessen Modifikation eingesetzt werden. «Der Stimulus, mit dem

Beim Einsatz eines derartigen Films – mit einer Billion Molekülen pro cm² – in Datenspeichergeräten könnte deren Kapazität drastisch gesteigert werden. «Die Erwartungen, die in derartige Systeme gesetzt werden, sind sehr hoch. Doch wir stecken noch tief in der Grundlagenforschung», dämpft Güntherodt die Hoffnungen. Allerdings hat schon dieses Forschungsstadium vor kurzem Forscher des japanischen Konzerns Sony dazu bewogen, nach Basel zu kommen... ■

Kontakt:

Prof. Hans-Joachim Güntherodt,
Institut für Physik, Universität Basel,
Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel
Tel. 061 267 37 67
Fax 061 267 37 95
hans-joachim.guentherodt@unibas.ch
www.physik.unibas.ch/forschung.html

Am Projekt Beteiligte:

Damaris Ammann, Edwin Constable, François Diederich, Egbert Figgemeier, Guy Greiveldinger, Bianca Hermann, Jan Hitz, Urs Hubler, Leo Merz, Peter Murer, Beat Rheiner, Dieter Seebach, Thierry Sifferlen, Philipp Weyermann, Yves Zimmermann.

Winzige supramolekulare Säulen

Die Chemiker haben ein Wörtchen mitzureden bei der Optimierung der neuen Generationen von Flachbildschirmen. Das meint jedenfalls Titus Jenny, assoziierter Professor am Departement für Chemie der Universität Freiburg.

Am Anfang waren die Kathodenstrahlröhren. Die erste baute 1911 der Russe Boris Rosing. Noch heute funktionieren viele Fernseher- und Computerbildschirme nach diesem zu Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelten Prinzip. Man spricht hier auch von CRT-Bildschirmen («Cathode Ray Tube»). «Das Problem», erläutert Jenny, «liegt darin, dass es aus Kostengründen und wegen der Abmessungen unmöglich ist, nach diesem Prinzip grosse Bildschirme zu bauen. Darüber hinaus weisen sie einen hohen Energieverbrauch auf.»

Aus diesem Grund hat sich die Forschung im Bereich Flachbildschirme im Laufe der letzten Jahre stark beschleunigt. Die bisher entwickelten Methoden sind jedoch entweder sehr kostspielig oder wenig befriedigend, oft sogar beides zugleich. «Hier liegt eine Herausforderung, der wir uns stellen möchten, das motiviert uns.»

Feldemissionsbildschirme

Das Freiburger Forscherteam hat sich durch so genannte Feldemissionsbildschirme inspirieren lassen. Ihr Funktionsprinzip gleicht dem der CRT-Bildschirme. Statt aus einer grossen

Anwendungsbereich:
Elektronische Anzeigen.



Titus Jenny

1950 in Arlesheim (BL) geboren. Er studierte Chemie an der Universität Zürich. Ebenfalls in Zürich erwarb er mit einer Arbeit aus dem Übergangsbereich zwischen organometallischer und analytischer Chemie den Doktorgrad. Seit 1992 ist er assoziierter Professor am Institut für organische Chemie der Universität Freiburg. Dort forscht er im Bereich organometallisch-synthetischen Chemie, die sich stark auf analytische Methoden stützt. Im Allgemeinen entstammen seine Forschungsthemen mehr der physikalischen Chemie als der Biochemie.

«Es macht mir Spass, Dinge zu erfinden.»

Kathodenstrahlröhre – bzw. einer pro Farbe – besteht der Bildschirm jedoch aus einer Vielzahl winziger Spitzen, von denen jede als Kathodenstrahlröhre funktioniert. Diese – derzeit noch aus Metall gefertigten Spitzen – emittieren die Elektronen, die anschliessend den Bildschirm zum Leuchten bringen.

Fast schon anwendungsbereit?

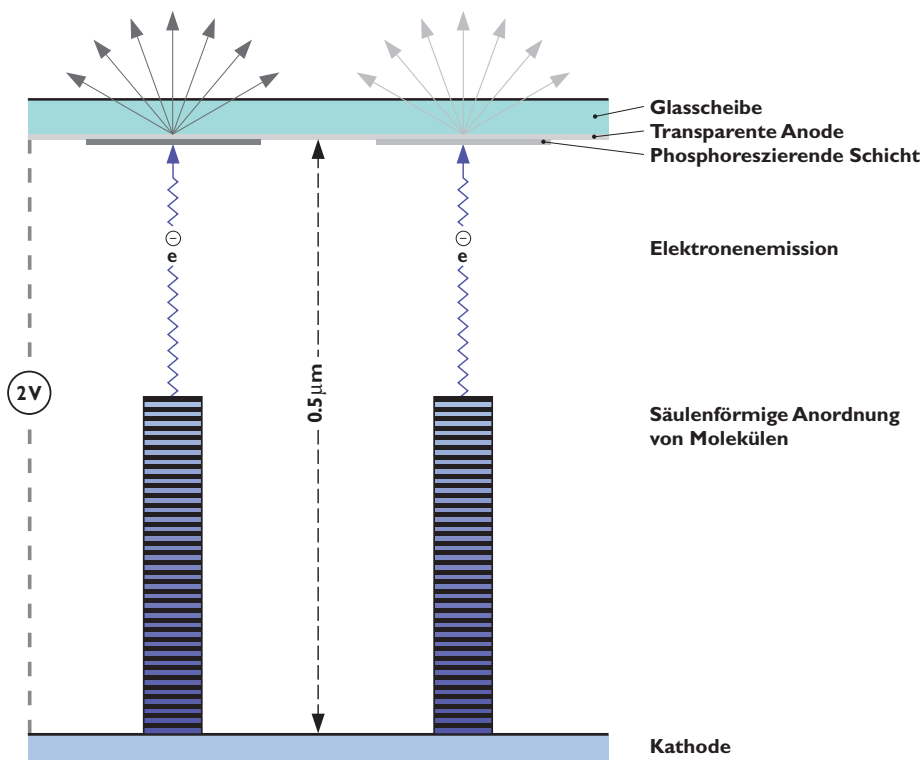
Ja...

Die Methode ist bekannt und funktioniert anscheinend. «Sie stösst auf zunehmendes Interesse der Industrie», fügt Jenny hinzu. Allerdings ist sie technisch schwer umzusetzen. Es ist sehr heikel, die Metallspitzen in einheitlicher Form herzustellen, was aber unverzichtbar ist, da das menschliche Auge Störungen sofort erkennt. «An

dieser Stelle kommt die supramolekulare Chemie ins Spiel. Wir möchten diese winzigen Spitzen mithilfe von Molekülen realisieren, die sich automatisch aufstapeln und Säulen bilden. Die supramolekularen Eigenschaften dieser Moleküle müssten theoretisch jene Einheitlichkeit liefern, die uns derzeit noch Schwierigkeiten bereitet.»

Darüber hinaus konnte ein Physiker-Team, das mit der Freiburger Gruppe im Rahmen dieses Projekts zusammenarbeitet, unlängst die Fähigkeit zur Feldemission bei vergleichbaren Strukturen nachweisen, den Nanoröhren. Leider ist es sehr schwierig, diese strukturiert herzustellen. «Mit dem passenden Molekül und etwas Ahnung von supramolekularer Chemie sollte es uns gelingen, eine Anordnung der supramolekularen Strukturen in Säulenform zu erzielen.»

für Flachbildschirme



Schema eines Feldemissions-Bildschirms, wie ihn die Forschergruppe in Freiburg entwickelt: Mithilfe der supramolekularen Chemie sollte es möglich sein, einheitliche Spitzen zu erstellen

...aber

Soweit scheint alles zum Besten in der besten aller Welten ... doch Jenny hat nichts von Voltaires Candide am Hut. «Einstweilen sind wir nicht sicher, ob die Moleküle sich zu isolierten Säulen aufstapeln lassen», erklärt er. «Wir untersuchen verschiedene Moleküle, die zu einer derartigen Anordnung fähig sein könnten. Sie weisen allesamt einen aromatischen Ring auf, der die Aufstapelung in geordnete Bahnen lenken sollte.» Mehr will Jenny nicht verraten: «Diese Idee könnte leicht kopiert werden.»

«Wenn wir aus solchen Molekülen einmal supramolekulare Zusammensetzungen hergestellt haben, müssen wir erst noch überprüfen, dass die Zusammensetzung auch tatsächlich Säulen-

form aufweist. Wir werden hierzu bekannte Analysetechniken nutzen, wie die Festkörper-Magnetresonanz, die Raster-Tunnel-Mikroskopie oder die Atom-Kraft-Mikroskopie.»

Wenn man aus derartigen Molekülen Stapel herstellen kann, hat man jedoch noch keine Feldemission. «Wir müssen die Emission noch testen. Wenn auch die gewünschte Emission sich einstellt, dann gilt es, in Zusammenarbeit mit der Physik den Träger zu entwickeln, auf dem unsere Mikrosäulen befestigt werden können. Der Träger muss leitend sein und Verankerungspunkte aufweisen, an denen unsere Säulen angebracht werden können.» Dann kann man schliesslich an eine wirtschaftliche Nutzung denken. Der Weg bis zum Produkt ist deutlich vor-

gezeichnet. «Man darf sich jedoch keinen Illusionen hingeben», betont Jenny. «Zwar ist jede Etappe genau definiert, doch ist auch jede mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet.»

Modul II:
Elektronen- und
Photonen-Transfer

Zusammenarbeit mit der Physik

Am Anfang dieses Projekts stand eine Begegnung zwischen einem Chemiker und einem Physiker. «Nachdem ich den Vortrag eines Physikers gehört hatte, der die Probleme erläuterte, die ihm das Züchten von Diamanten auf einer festen Unterlage bereitete, machte ich mich daran, diese Frage vom Standpunkt eines Chemikers aus zu untersuchen», erklärt Jenny. «Seit her haben wir uns regelmässig getroffen, er führte mich in den Bereich der Feldemission ein und ich brachte ihm chemische Lösungen.» Hinzu kam noch ein glücklicher Zufall: Zur gleichen Zeit wurde auch das NFP 47 aufgelegt. ■

Kontakt:

Prof. Titus Jenny, Departement für Chemie, Universität Freiburg, chemin du Musée 9, 1700 Freiburg
Tel. 026 300 87 78
Fax 026 300 97 39
titus.jenny@unifr.ch
www-chem.unifr.ch/oc/jenny/TJ.html

Am Projekt Beteiligte:

Jean-Nicolas Aebischer, Bassam Alameddine, Emmanuelle Bentabet-André, Patrick Folly, Sophie Gomez-Von Allmen, Pierangelo Groening, Raoul Mariaca, Pascal Ruffieux, Louis Schlapbach.

Nanofässchen «à la Baguette»

In der Abteilung für organische Chemie der Universität Genf haben Prof. Stefan Matile und sein Forscherteam die erste Methode zur Synthetisierung von künstlichen chemischen Strukturen in Form von Fässchen entwickelt. Diese bieten getreu ihren makroskopischen Vorbildern Platz zur Aufnahme verschiedener Substanzen. Da sie an den Enden offen sind, eignen sie sich ferner als Kanäle zum Transport verschiedener Moleküle. Die Anwendungsmöglichkeiten sehen sehr vielversprechend aus.

«Bei diesem Projekt habe ich mich von den Zellen in unserem Organismus inspirieren lassen», erzählt Matile. Auf besonderes Interesse bei der Genfer Gruppe sind dabei kleine Kanäle gestossen, so genannte Ionenkanäle, die über die Zellmembran verteilt sind und den Austausch von Stoffen zwischen dem Zellinneren und der Umgebung ermöglichen. «Diese Ionenkanäle erfüllen eine lebenswichtige Funktion. Ausserhalb ihres natürlichen Umfelds eingesetzt, könnten diese Fässchen (die aus der Membran extrahierten Kanäle erinnern an Fässchen ohne Deckel und Boden) eine Vielzahl anderer Funktionen wahrnehmen», fügt Matile hinzu. Daher stossen diese Fässchen, die aufgrund ihrer geringen Abmessungen auch als Nanofässchen bezeichnet werden, bei der wissenschaftlichen Gemeinschaft auf äusserst reges Interesse.

Anwendungsbereiche: Gentherapie, chemischer Detektor, Katalyse.

Beachtliche Anwendungsperspektiven

Bereits vor den Arbeiten von Matile konnten derartige Fässchen im Labor hergestellt werden. Wie ihre natürlichen Vorbilder bestanden sie aus grossen Biomolekülen – Proteinen, die man einer chemischen Veränderung unterzogen hatte. Dem Genfer Forscherteam gelang die Glanzleistung, diese künstlichen Fässchen aus einfachen organischen Molekülen mit Stäbchenform zu synthetisieren. Und um diese Geschichte abzurunden: die stäbchenförmigen Moleküle werden zuweilen auch als «Baguettes» bezeichnet – daher die von Matile so gerne gebrauchte Wendung «Chemie à la Baguette».

In der supramolekularen Zusammensetzung bilden diese Molekülstäbchen die Fassdauben. Der Innendurchmesser des Fässchens liegt zwischen zwei

und drei Nanometern, «gross genug beispielsweise für die Aufnahme einer DNS-Doppelhelixstruktur, was für die Gentherapie interessant sein könnte». Doch diese Strukturen könnten noch in weiteren Feldern eingesetzt werden, wie zum Beispiel Katalyse, Pharmakologie, chemische Detektion, Medikamententransport... «Nach unserem derzeitigen Kenntnisstand sind zahlreiche Anwendungen denkbar. Bisher wurde allerdings noch keine davon realisiert.»

Grosser Sachverstand bei der Synthese

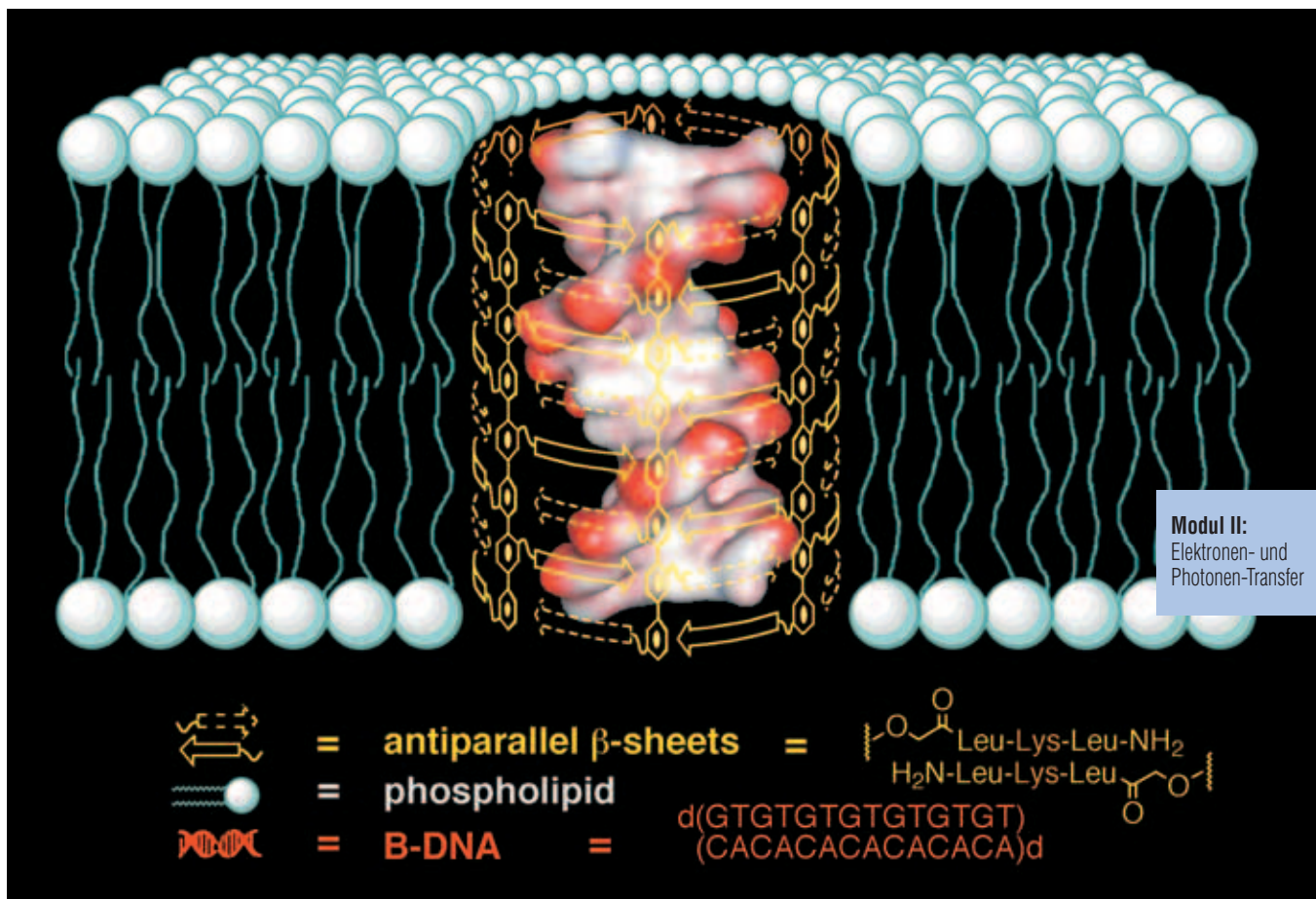
Seither hat die Genfer Forschergruppe noch weitere Fortschritte bei der Synthese gemacht. «Mithilfe der in meinem Labor entwickelten Methoden

«Wir haben diesen Bereich geschaffen, also sind wir darin führend.»

Stefan Matile

1963 in Zürich geboren. Er studierte Chemie an der Universität Zürich. Dort erlangte er auch, mit einer Arbeit in bioorganischer Chemie, den Doktorgrad. Anlässlich eines Postdoc-Aufenthalts an der Columbia-Universität in New York arbeitete er zum ersten Mal mit stäbchenförmigen Molekülen. Im Jahre 1996 wurde er als Assistenzprofessor an die Georgetown-Universität in Washington DC berufen, wo er mit der Entwicklung seines Bereichs der bioorganischen Chemie begann, den er «à la Baguette» zu nennen pflegt. Seit 1999 ist Stefan Matile Assistenzprofessor an der Abteilung für organische Chemie der Universität Genf.





lassen sich heute die äusseren Eigenschaften dieser Fässchen einfach verändern», erläutert Matile. «Gerade in dieser doppelten Beherrschung der internen wie der externen Eigenschaften liegt das Potenzial unserer Nanofässchen.»

Durch die Veränderung der äusseren Eigenschaften des Nanofässchens kann seine Einbringung in ein Fremdmilieu, zum Beispiel in Membranen, erleichtert werden. Dank der chemischen Veränderung des Inneren des Fässchens ergibt sich eine grössere Selektivität hinsichtlich der Moleküle, die darin aufgenommen werden.

Zusammenarbeit mit der Industrie

Die Genfer Gruppe beherrscht die Synthese dieser Nanofässchen – nun möchte sie die verschiedenen möglichen Anwendungsbereiche sichten. «Doch die Entwicklung fällt nicht in die Zuständigkeit der Universitäts-

labors. Diese Aufgabe muss die Industrie übernehmen», präzisiert Matile. «Angesichts der Tatsache, dass beide Seiten hier nur profitieren können, wäre eine Zusammenarbeit mit der Industrie sehr interessant», fährt er fort. «Wir kümmern uns um die Synthese und zeigen durch Beispiele die möglichen Anwendungsbereiche auf. Die Industrie, in der es ebenfalls tüchtige Forscher gibt, soll dann die Entwicklungsphase übernehmen. Wir können ihr dabei mit Rat und Hilfe zur Seite stehen.»

Im Bereich der Nanofässchen verfügt das Team von Matile über einen sicheren Stand. «Wir haben diesen Bereich geschaffen, also sind wir darin führend», schliesst der Forscher. ■

Ein supramolekulares Fässchen, wie sie in Genf hergestellt werden: breit genug um eine DNS-Doppelhelix zu umfassen

Kontakt:

Prof. Stefan Matile, Département de chimie organique, Université de Genève, quai E.-Ansermet 30, 1211 Genève 4
Tel. 022 702 60 85
Fax 022 328 73 96
stefan.matile@chiorg.unige.ch
www.unige.ch/sciences/chiorg/Matile

Am Projekt Beteiligte:

Marc Adrian, Yoann Baudry, Bodo Baumeister, Jack Bourdon, Gopal Das, Lahoussine Ouali, Naomi Sakai, Shatrugan Shahi, Abhigyan Som, Nathalie Sordé, Kevin J. Wilkinson, Eiji Yashima.

Die Vereinigung von Nanokristallen und Biomolekülen

Nanokristalle und Biomoleküle zusammenfügen: Auf diesen Gedanken kam Claus Duschl, Privatdozent am Laboratorium für physikalische Chemie von Polymeren und Membranen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne. Diese neuen Kompositmaterialien weisen optische Eigenschaften auf, die durch einen biologischen Stimulus verändert werden können – eine interessante Perspektive im äusserst vielversprechenden Bereich Bioanalytik.

Auf nanoskopischer Ebene interessante Eigenschaften sind nicht zwangsläufig auch im Grössenbereich der menschlichen Alltagsumgebung interessant. Deshalb ist der Übergang von der molekularen in die makroskopische Welt alles andere als trivial – eine Erfahrung, die das Forscherteam um Duschl jeden Tag aufs Neue macht. Es möchte in unserem Grössenbereich das enorme Potenzial nutzbar machen, das in den Nanoteilchen steckt. «Ziel dieses Projekts ist die Kombination von Nanokristallen und biologischen Molekülen zur Bildung von Kompositmaterialien mit für die Bioanalytik interessanten optischen Eigenschaften», erläutert Duschl.

Anwendungsbereich: Bioanalytik.

«Ich beobachte chemische und biologische Systeme mit den Augen eines Physikers.»

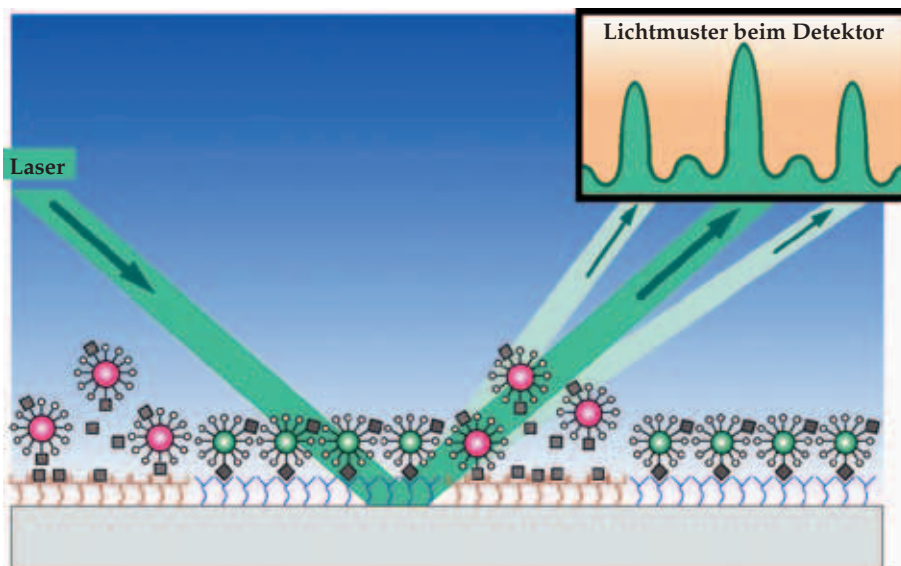


Claus Duschl

1954 in Eggenfelden in Deutschland geboren. Er studierte Physik an der Universität München. Dort erlangte er auch den Doktorgrad mit einer Arbeit aus dem Bereich der Spektroskopie an organischen Filmen. Anschliessend absolvierte er einen Postdoc-Aufenthalt am Institut für Biotechnologie der Universität Cambridge. 1994 begann er seine Tätigkeit am Laboratorium für physikalische Chemie von Polymeren und Membranen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne, wo er heute Forschungen im Bereich Spektroskopie und Optik organischer Flächen durchführt.

Nanokristalle, ...

Winzige Kristalle mit spannenden Eigenschaften bilden den Ausgangspunkt von Duschls Projekt. Aufgrund ihres Durchmessers von zwei bis sechs Nanometern werden diese Teilchen auch als Nanoteilchen, bzw. als Nanokristalle bezeichnet. Angesichts ihrer winzigen Abmessungen unterliegen diese Materialien den Gesetzen der Quantenphysik, die auf den ersten Blick etwas befremdlich wirken. Besonders deutlich sichtbar ist der Effekt bei den optischen Eigenschaften dieser Nanokristalle. Hierzu zählt beispielsweise, dass sie Licht aussenden, dessen Farbe von der Grösse des Kristalls abhängt: Ein Kristall mit einer bestimmten Zusammensetzung gibt bei einem Durchmesser von zwei Nanometern grünes Licht, mit fünf Nanometern rotes Licht ab. Bei einem Kristall einer bestimmten Grösse erfolgt die Lichtemission also in einer bestimmten Farbe. «Es sei denn, die Umgebung des Nanokristalls ändert sich», legt Duschl dar. «In diesem Falle ändert sich auch die Lichtemission. Mit anderen Worten: die Änderungen des vom Nanokristall emittierten Lichts geben Auskunft über die Umgebung.» Diese Nanokristalle sind auch äusserst vielversprechende Kandidaten für die Erkennung und Markierung chemischer und biologischer Reaktionen.



Verschiedene von Biomolekülen eingehüllte Nanokristalle ordnen sich per molekulare Erkennung selektiv auf einer Oberfläche an. Die grünen Nanokristalle bilden ein Netz, das das reflektierte Licht eines Lasers moduliert.

Modul III:
Sensoren und diagnostische
Werkzeuge

... von Biomolekülen eingehüllt

Doch die Nanokristalle müssen darüber hinaus von Biomolekülen eingehüllt sein. Diese Umhüllung ermöglicht durch molekulare Erkennung die Zusammensetzung der Nanokristalle. Dieses Kompositmaterial müsste über neuartige Eigenschaften verfügen, die sich von denen der isolierten Teilchen unterscheiden, da jedes die Präsenz des Nachbarn erkennt. «Für diese neuartigen Eigenschaften interessieren wir uns. Darüber hinaus führt die Annäherung eines fremden Biomoleküls zu einer Wechselwirkung mit dem Kompositmaterial durch molekulare Erkennung. Damit verfügen wir über ein neues Konzept für einen biologischen Detektor.»

Weit reichende Perspektiven

«Die von diesen Kompositmaterialien im Bereich Bioanalytik eröffneten Perspektiven sind äusserst vielversprechend», unterstreicht Duschl. «Es interessieren sich bereits einige Unternehmen für unsere Forschung.» Eine Anordnung von Kompositmaterialien auf einer Oberfläche wäre ein ausgezeichnetes Mittel zur Untersuchung des wirksamen Bestandteils chemischer Zusammensetzungen im Hin-

blick auf pharmazeutische Anwendungen. Damit könnte rasch bestimmt werden, welcher wirksame Bestandteil mit welchem Typ von Biomolekülen reagiert.

«Doch trotz dieser weit reichenden Anwendungsperspektiven bleiben noch zahlreiche Grundlagenfragen zu klären.» Genau das ist das Ziel der Lausanner Forschergruppe. Die Synthese dieser Nanoteilchen beherrscht man bereits relativ gut – das Absetzen einer Schicht von Biomolekülen auf ihrer Oberfläche ist dagegen ungleich problematischer. «Diese Schwierigkeit ist unter anderem auf die starke Krümmung dieser Teilchen zurückzuführen, die einen Durchmesser von zwei bis sechs Nanometern aufweisen. Um umfassend wirksam zu sein, muss diese Schicht zudem ausreichend dicht, homogen und stabil sein. Es gilt, ihre Auswirkung auf die optischen Eigenschaften der Nanokristalle zu begreifen.»

Anregender Wettbewerb

«In diesem Bereich beginnt sich ein gewisser Wettbewerb abzuzeichnen», legt Duschl dar. «Doch das ist ausgesprochen positiv, denn es zeigt, dass es sich um ein interessantes Feld mit einem grossen Potenzial handelt.» Die ersten Forschungen haben Spezialisten im Bereich Mineralchemie durch-

geführt. Sie waren mit Nanokristallen bestens vertraut, während ihre Kenntnisse bei Biomolekülen etwas lückenhaft waren. «Unser Vorteil», so schliesst Duschl, «liegt darin, dass wir in beiden Bereichen über eine gewisse Erfahrung verfügen.» ■

Kontakt:

PD Dr. Claus Duschl, Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPF – Ecublens, 1015 Lausanne
Tel. 021 693 61 68
Fax 021 693 61 90
claus.duschl@epfl.ch
icpsg3.epfl.ch

Am Projekt Beteiligte:

Isabelle Geissbühler, Gopakumar Gopala Krishnanin, Michael Grätzel, Martha Liley, Caterina Minelli, Ravindranathan Thampi, Horst Vogel.

An der Grenze zwischen der supramolekularen und der makroskopischen Welt

Im Labor für Photonik und Schnittstellen der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne entwickeln Prof. Michael Grätzel und sein Forscherteam Oberflächen mit bemerkenswerten optischen und elektronischen Eigenschaften. Diese weisen ein breitgefächertes Potenzial auf: von der Umwandlung von Sonnenenergie bis zur Datenspeicherung.

Die Lausanner Forschergruppe interessiert sich nicht so sehr für eine supramolekulare Maschine mit einer ganz bestimmten Eigenschaft, sondern vielmehr für eine Methode zur Herstellung einer Verbindung zwischen den supramolekularen Eigenschaften und der makroskopischen Welt. Denn es ist nicht alles Gold, was glänzt.

Es glänzen «zum einen Moleküle, die aus zwei optisch oder elektronisch aktiven Teilen zusammengesetzt sind und zum anderen äusserst raue nanokristalline Halbleiteroberflächen», erläutert Grätzel. Und Gold ist «das Material, das aus diesen beiden Einheiten entsteht. Es sollte in der Lage sein, photochemische und elektrochemische Signale zu verstärken, zu übertragen und zu speichern», führt der Forscher weiter aus.

Anwendungsbereiche: Molekularelektronik, Datenspeicherung.



Michael Grätzel

1944 in Dorchemnitz in Deutschland geboren. 1968 erwarb er an der Freien Universität Berlin

sein Chemiediplom. Anschliessend wechselte er an die Technische Universität Berlin, wo er 1971 mit einer Arbeit zur Kinetik schneller Reaktionen promovierte. 1977 wurde er als Professor für physikalische Chemie an die ETH Lausanne berufen. Sein Forschungsbereich erstreckt sich auf künstliche Photosynthese (Herstellung einer neuartigen photovoltaischen Batterie, katalytische Reduktion von Kohlendioxid), Bioelektronik, Katalyse sowie Herstellung und Anwendung von Nanokristallen.

«Lieber auf erstklassige Publikationen als auf Anwendungen abzielen.»

Effizientere Solarzellen möglich

Mithilfe der in Lausanne entwickelten Materialien liesse sich zum Beispiel eine Leistungssteigerung bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie erzielen. Herkömmliche Solarzellen nutzen zur Umwandlung von Licht in Elektrizität den photovoltaischen Effekt bei Halbleitern. «Diese erfüllen dabei gleichzeitig zwei Funktionen: Sie absorbieren Licht und trennen die elektrischen Ladungen. Wenn das Material nicht extrem rein ist, kommt es häufig zu einer vorzeitigen Rekombination der Ladungen, was die Leistung der Umwandlung verringert», erläutert Grätzel.

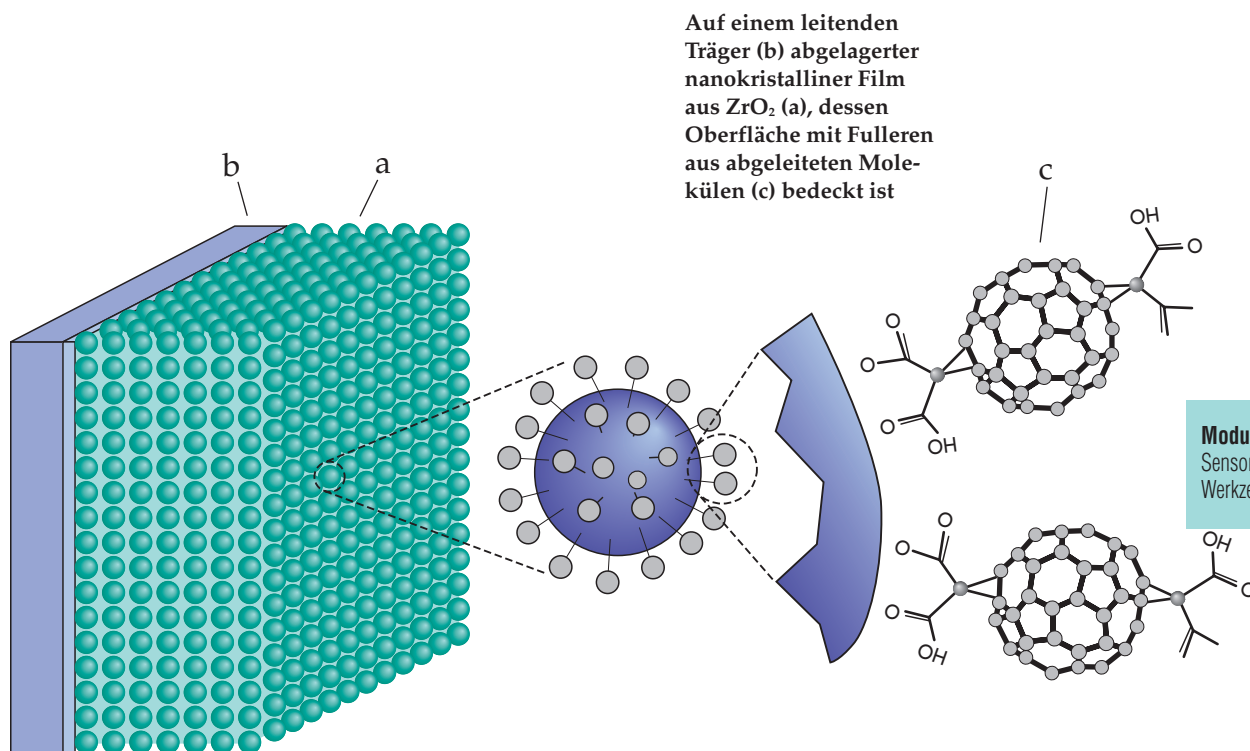
Die im Rahmen dieses Projekts entwickelten Materialien erlauben eine Differenzierung zwischen den Funktionen Lichtabsorption und Abtrennung der elektrischen Ladungen. «Somit lassen sie auf eine erhebliche Leistungssteigerung bei Solarzellen hoffen, sowie –

dank ihrer relativ einfachen Herstellung – auf niedrige Kosten für Solarenergie.»

Auf nanokristalline Teilchen aufgepfropfte Moleküle

Für die Lichtabsorption sorgt eine auf die Oberfläche eines Halbleiters aufgepfropfte Schicht von Molekülen. Der so genannte chromophore Teil dieser Moleküle wird durch die Absorption eines Photons angeregt. In der Folge wird ein Elektron in das angebundene Halbleiterteilchen eingeschossen. Der zweite, so genannte elektrochrome Teil

molekularen



Modul III:
Sensoren und diagnostische
Werkzeuge

des Moleküls informiert über die Rückkehr des Elektrons, das heisst über eine vorzeitige Rekombination der Ladungen.

Die Lichtabsorptionsfähigkeit einer Einzelschicht aus diesen Molekülen würde äusserst gering ausfallen. Um diesem Problem abzuweichen und eine annehmbare Umwandlungsleistung zu erzielen, wird die Oberfläche des Halbleiters uneben gestaltet. «Sie weist die Form eines porösen Films mit sehr hoher Rauheit auf. Auf diese Weise kann die Oberfläche des Systems wesentlich vergrössert werden, was eine hohe Lichtabsorption und letztlich eine effektivere Umwandlung von Licht in Elektrizität ergibt», legt Grätzel dar.

Weitere Anwendungen in der Datenspeicherung

Dieselbe Art von Material könnte auch ein optisches System zur Datenspeicherung ermöglichen. Dazu werden die Halbleiter-Nanoteilchen und die sie umgebenden Moleküle in einem Polymer verteilt. Bei einer Anregung durch Licht laden sich diese Teilchen negativ auf. Auf diese Weise erlauben sie die Speicherung sowie das Lesen und Löschen von Daten auf Nanometerebene.

«Dieses Projekt im Rahmen des NFP 47 räumt uns grössere Freiheiten für die Grundlagenforschung ein», freut sich Grätzel. «Wir haben zwar Vorstellungen für mögliche Anwendungen, doch die sind erst langfristig geplant. Wir sind somit in einer sehr angenehmen Lage, denn um im wissenschaft-

lichen Bereich anerkannt zu werden, muss man in erstklassigen Zeitschriften publizieren und nicht eine unmittelbare wirtschaftliche Nutzung anstreben.» ■

Kontakt:

Prof. Michael Grätzel, Laboratoire de photonique et interfaces, EPFL Ecublens, 1015 Lausanne
Tel. 021 693 31 12
Fax 021 693 61 00
michael.gratzel@epfl.ch
dcwww.epfl.ch/lpi

Am Projekt Beteiligte:

Davide Bonifazi, François Diederich, Olivier Enger, Jessica Krüger, Richard Meier, Jacques-Edouard Moser, Nicholas Papageorgiou.

Supramolekulare Kinetik im Rampenlicht

Die Geschwindigkeit, mit der supramolekulare Prozesse ablaufen, ist eine fundamentale Grösse, deren Kenntnis und Beherrschung zur Kommerzialisierung funktioneller supramolekularer Materialien unabdingbar ist. Werner Nau, Professor am Institut für physikalische Chemie der Universität Basel, forscht in dem Gebiet der supramolekularen Kinetik an vorderster Front.

«Wenn ich einen Sportwagen kaufe, achte ich in erster Linie auf seine Höchstgeschwindigkeit. Die Forscher im Bereich der supramolekularen Chemie, die sich mit der Entwicklung funktioneller Maschinen beschäftigen, müssten ebenso denken», meint Nau. «Doch nur wenige der Wissenschaftler in diesem Bereich interessieren sich dafür, wie schnell ihre Maschinen laufen. Diese Frage wird aber schon bald ins Zentrum rücken.»

Stellen wir uns ein supramolekulares Wirkstoffdepot vor, das im menschlichen Körper gezielt ein Medikament freisetzt. Gewiss ist es wichtig, die supramolekulare Struktur im Detail zu

kennen. Genauso grundlegend ist aber die Kenntnis der Geschwindigkeit, mit der das Medikament ausgeschüttet wird, denn von der Geschwindigkeit hängt schliesslich auch die Wirkung ab. Die Ergründung dieser Zusammenhänge ist ein Ziel der supramolekularen Kinetik.

Fluoreszierende Detektoren

Auf der Suche nach einer sehr feinen Analyseverfahren, mit der es möglich wird, selbst die Reaktion einzelner Moleküle zu beobachten, hat sich die Basler Gruppe der Fluoreszenzspektroskopie zugewandt.

«Diese Methode bedient sich fluoreszierender Detektormoleküle, deren Synthese ein Hauptziel unserer Forschungsarbeit ist. Im Herzen des zu beobachtenden Systems werden Lichtimpulse ausgesandt, die stark von der Umgebung beeinflusst werden. So erhalten wir detaillierte Informationen über eben diese Umgebung», erklärt Nau.

Die Fluoreszenzeigenschaften der Detektoren hängen von deren Struktur ab. Die Basler Forschungsgruppe entwickelt und modifiziert sie je nach Anwendung. «Wir haben Detektoren entwickelt, die sehr lange im fluoreszierenden Zustand bleiben, bis zu einer Mikrosekunde. Dies ist die langlebigste Fluoreszenz, die je für organische Detektoren beobachtet wurde. Damit können wir sowohl schnelle, wie auch langsame Reaktionen beobachten.»



Werner Nau

1968 in Fulda (Deutschland) geboren. Er studierte Chemie an der Universität Würzburg. Nach Erwerb eines Master of Science an der St. Francis Xavier University in Kanada kehrte er nach Würzburg zurück, wo er 1994 den Dokortitel erhielt. 1996 kam er als Forschungsassistent nach Basel. Anfang 2000 erhielt er eine Förderungsprofessur des Nationalfonds. In Basel führt er eine interdisziplinäre Forschungsarbeit in einem Bereich durch, der der physikalisch-organischen Chemie zugeordnet werden kann.

Anwendungsbereiche: Supramolekulare Maschinen, Wirkstoffdepots.

«Die Geschwindigkeit supramolekularer Maschinen messen und sie kontrollieren lernen.»

Wirt-Gast-Komplexe

Die Basler Forschungsgruppe wendet ihre Methode auf zwei Arten supramolekularer Systeme an: Das erste und einfachere System setzt sich aus lediglich zwei Molekülen zusammen. Ein «Wirtmolekül» verbindet sich mit einem «Gastmolekül». Das Wirt-Gast-Konzept geht insbesondere auf Donald J. Cram zurück – einer von drei Chemikern, die für ihre Arbeit im Bereich der supramolekularen Chemie 1987 mit dem Nobelpreis geehrt wurden. «Wir versuchen die Geschwindigkeit, mit der sich Wirt und Gast verbinden oder trennen, zu bestimmen», erklärt Nau. «Diese Geschwindigkeiten sind für praktische Anwendungen von grossem Interesse.»

Zurzeit wird in der Basler Gruppe der fluoreszierende Detektor direkt als Gastmolekül eingesetzt. Anschliessend wird die Geschwindigkeit untersucht, mit der er sich mit dem Wirtmolekül verbindet. «Wir wollen die Faktoren verstehen, die die supramolekulare Kinetik beeinflussen», fährt Nau fort. «Ausserdem geben uns die Detektoren grundlegende Auskünfte über das Innere des Wirtmoleküls, das uns bislang unzugänglich war.» Später sollen die Detektoren als Marker mit anderen Gastmolekülen verbunden werden. «So werden wir ganze supramolekulare Maschinen untersuchen können.»

Biologische Prozesse

Die Basler Gruppe dehnt ihre Methode auf die Studie gewisser biologischer Prozesse aus, der zweiten Gruppe von Systemen. «Diese Ausdehnung ist dadurch begründet, dass zahlreiche Forschungsarbeiten in der supramolekularen Chemie zum Ziel haben, biologische Systeme zu imitieren», so Nau. «Wir untersuchen zum Beispiel die Diffusionskinetik in der Zellmembran, die sich direkt auf die Funktion einer Membran auswirkt. Diese Arbeit ist für die Entwicklung synthetischer Membranen von grosser Bedeutung.»

Grundlagenforschung

«Die supramolekulare Kinetik bewegt sich im Bereich der Grundlagenforschung», schliesst Nau. «Sie kann jedoch auch für die Kommerzialisierung interessant werden. Wir stossen in unseren Arbeiten immer wieder auf neue Anwendungsmöglichkeiten und suchen dann Kontakte. Dies ist zum Beispiel bei dem von uns entwickelten Analyseverfahren der Fall, mit dem es gelingt, in biologischen Systemen Vitamin E und C zu messen.» ■

Kontakt:

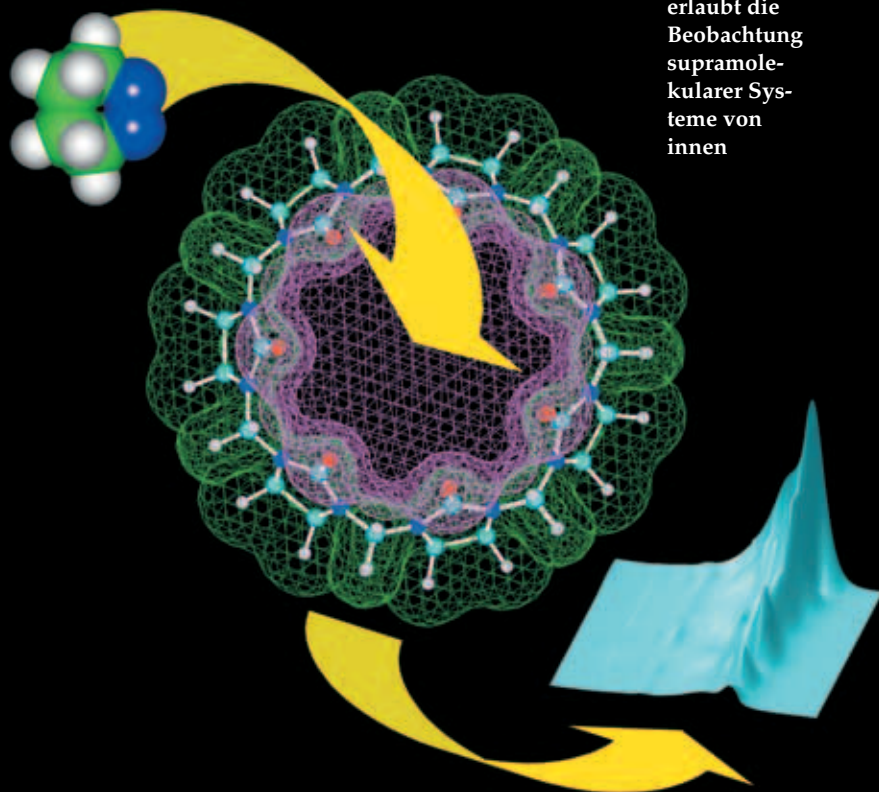
Prof. Werner Nau, Institut für physikalische Chemie, Universität Basel, Klingelbergstrasse 80, 4056 Basel
Tel. 061 267 38 31
Fax 061 267 38 55
werner.nau@unibas.ch
www.chemie.unibas.ch/~nau

Am Projekt Beteiligte:

Huseyin Bakirci, Huang Fang, Gaby Gramlich, Robert R. Hudgins, Dieter Klapstein, César Márquez, Uwe Pischel, Xiaojuan Wang, Jiayun Zhang, Xiangyang Zhang.

Modul III:
Sensoren und diagnostische
Werkzeuge

Der fluoreszierende Detektor erlaubt die Beobachtung supramolekularer Systeme von innen



Eine Oberfläche zur Aufnahme und

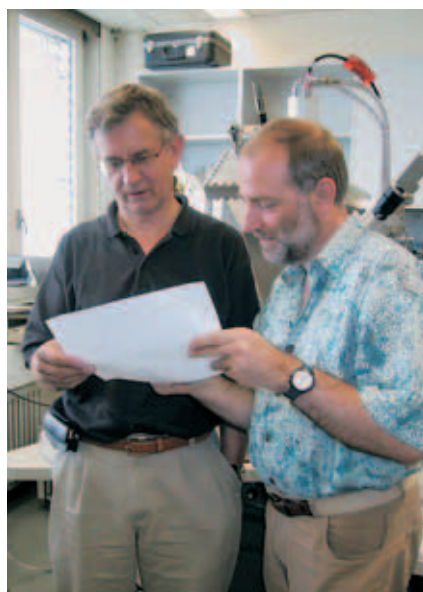
Im Laboratorium für Oberflächenwissenschaft und -technologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich kamen Prof. Nicholas D. Spencer, Prof. Jeffrey A. Hubbell und Dr. Marcus Textor auf den Gedanken zur Entwicklung eines neuen Verfahrens für die Analyse von Proteinen. Es handelt sich um eine Oberfläche, an die sich solche Makromoleküle selektiv und unter weitgehender Erhaltung ihrer Aktivität anbinden lassen.

Die Proteine sind die häufigsten Moleküle bei Lebewesen. Sie sind für den Grossteil der Zellaktivitäten zuständig und stellen zugleich die wichtigsten Bauelemente der Zellstrukturen und der extrazellulären Strukturen dar. «Es ist von grundlegender Bedeutung, diese nur wenige Nanometer grossen Makromoleküle beobachten zu können», erläutert Spencer. «Umso mehr, als ihre Funktion stark von ihrer Struktur abhängt.»

Die Makromoleküle in ihrem natürlichen Umfeld belassen

Diese Aufklärung der Struktur von Proteinen ist heute dank hochentwickelter Kristallographie und Mikroskopie möglich. «Allerdings setzt diese Technik voraus, dass das Molekül, das man beobachten möchte, in Form eines Kristalls vorliegt. Das ist zum einen nicht leicht zu bewerkstelligen,

Anwendungsbereich: Bioanalytik.



«Es ist von grundlegender Bedeutung, die Struktur von Proteinen an Oberflächen beobachten zu können.»

zum anderen wird das Makromolekül so aus seinem natürlichen Umfeld herausgerissen.»

Das Zürcher Team hat sich die Lösung dieses Problems zum Ziel gesetzt und strebt daher nach der Entwicklung einer neuen Methode zur Anbindung von Antikörpern für die Analyse von Proteinen. «Der Gedanke lautet, eine Oberfläche zu schaffen, an die sich diese Makromoleküle selektiv anlagern. Mithilfe der optischen Wellenleitertechnik tastet anschliessend ein Laserstrahl die Oberfläche ab und analysiert quantitativ die Oberflächen-

reaktionen auf dem optischen Chip mit hoher Empfindlichkeit.»

Wie das Problem der Denaturierung lösen?

Das Konzept liegt klar zutage, doch die Umsetzung bleibt eine Herausforderung. «Das Protein darf sich nicht einfach irgendwo oder irgendwie an die Oberfläche binden können», führt Textor weiter aus. «Das würde zu einer Änderung seiner Struktur führen – man spricht hier von Denaturierung –, und es ginge so seiner biologischen Aktivität verlustig. Die Oberfläche

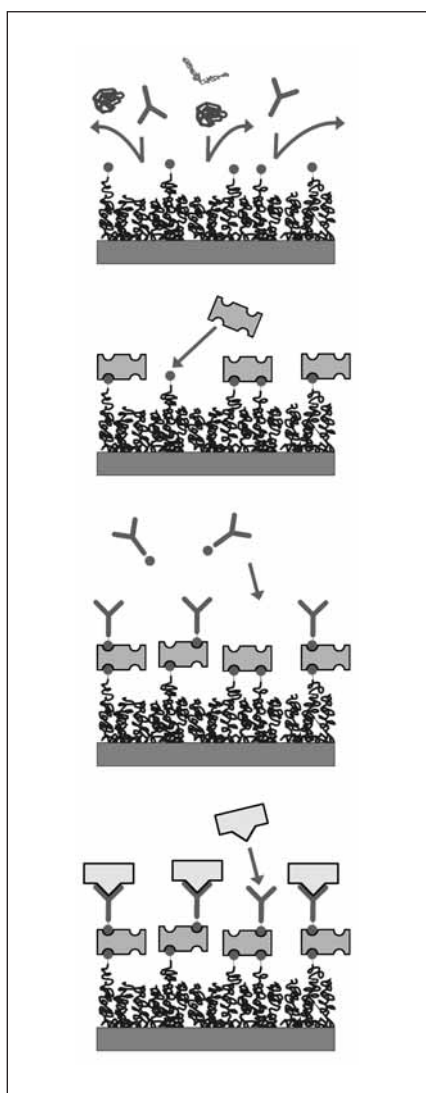
Nicholas D. Spencer (rechts)

1955 in Bromley in England geboren. Er studierte Chemie an der Universität Cambridge. Im Jahre 1980 erlangte er mit einer Arbeit zur Chemie der Oberflächen von Gold und Silber den Doktorgrad. Von 1982 bis 1993 arbeitete er als Forscher bei der amerikanischen Firma Grace. Im August 1993 wurde er zum Professor für Oberflächentechnik am Departement Werkstoffe der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich berufen.

Marcus Textor

1946 in Wädenswil (Kanton Zürich) geboren. Er studierte Chemie an der Universität Zürich. Dort erwarb er mit einer Arbeit auf dem Gebiet der organometallischen Chemie den Doktorgrad. Von 1978 bis 1994 arbeitete er bei Alusuisse, wo er 1992 zum Leiter der Materialabteilung ernannt wurde. Seit 1994 arbeitet er an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, wo er die Forschungsgruppe «Biomaterial- und Biosensoroberflächen» leitet.

Analyse von Proteinen



Eine neuartige, an der ETH Zürich entwickelte, makromolekulare Biosensor-Grenzfläche, die geeignet ist, Proteine mit hoher Nachweisempfindlichkeit und Selektivität nachzuweisen

muss daher insgesamt für Proteine nichthaftend sein, aber in gleichmäßigen Abständen Andockpunkte aufweisen, an denen diese Makromoleküle festgemacht werden können.»

Die Denaturierung ist eines der grössten Probleme für einen Forscher, der ein Protein auf einer Oberfläche funktionell erhalten will. «Einerseits», fährt Spencer fort, «muss ein Biomolekül in seiner natürlichen Form an einem Verankerungspunkt angebonden werden, der wesentlich kleiner ist als das Molekül selbst, damit die Auswirkungen dieser Anbindung möglichst gering bleiben. Andererseits muss die Wechselwirkungen zwischen den beiden Teilen stark genug sein, um das Protein an der Oberfläche festzuhalten.»

Herstellung der Oberfläche

Ein weiterer Aspekt des Problems: Wie soll man eine Oberfläche herstellen, die all diese Anforderungen erfüllt? Bei einem seiner Ansätze hat das Zürcher Forscherteam ein Polymer hergestellt, das einerseits für die Proteine keinerlei Haftungsmöglichkeiten bietet und sich andererseits auf einer Oxidoberfläche ablagern kann. Auf dieses Polymer kann in einem zweiten Schritt eine funktionale Gruppe aufgepfropft werden, die als Andockpunkt dient. «Das ist so, als befände sich ein und dasselbe Molekül gleichzeitig in zwei unterschiedlichen Zuständen, von denen einer das Andocken eines Proteins erlaubt, der andere aber nicht», erläutert Spencer.

Die Adsorption des Polymers an eine Oberfläche erfolgt nicht sofort. Sie hängt von der Expositionsdauer und der Konzentration ab. «Durch geeignete Veränderung dieser Parameter»,

fügt Textor hinzu, «lassen sich Polymerinseln schaffen, die zur Aufnahme der Proteine bereit sind.» Dieselbe Oberfläche wird anschliessend längere Zeit dem Polymer ohne Andockpunkt ausgesetzt, das dann den Raum dazwischen ausfüllt. «Wir sind bereits in der Lage, eine Oberfläche herzustellen, auf der bestimmte Bereiche das Absetzen von Proteinen erlauben und andere nicht. Was wir jedoch noch nicht unter Kontrolle haben, ist die räumliche Verteilung im molekularen Massstab.»

Mittelfristig könnten zahlreiche Anwendungen in den Bereichen Biosensorik und Bioanalytik von diesen Forschungsergebnissen profitieren. «Der Wettbewerb läuft hier auf vollen Touren. Die räumliche Anordnung von Andockpunkten in einer nicht-interaktiven Umgebung stellt dagegen einen einzigartigen Ansatz dar», schliessen die beiden Forscher, nicht ohne Stolz. ■

Modul III:
Sensoren und diagnostische
Werkzeuge

Kontakt:

Prof. Nicholas D. Spencer, Oberflächentechnik, ETH-Zentrum NO-H64, CH-8092 Zürich
Tel. 01 632 58 50
Fax 01 633 10 27
nspencer@surface.mat.ethz.ch
www.surface.mat.ethz.ch

Am Projekt Beteiligte:

Susan M. De Paul, Stephanie Finken, Andreas Gössl, Ning-Ping Huang, Jeffrey A. Hubbel, Ilya Reviakine, Janos Vörös.

Die Sprache der Zellen entschlüsseln

Die G-Proteine und die mit ihnen gekoppelten Membranrezeptoren zählen zu den grundlegenden Systemen der Zellkommunikation. Sie sind ein beliebter Ansatzpunkt für zahlreiche Medikamente – doch ihre Funktion auf molekularer Ebene ist bisher noch wenig erforscht. Horst Vogel, Professor am Labor für physikalische Chemie von Polymeren und Membranen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne, sowie Susanna Cotecchia, Professorin an der Universität Lausanne, hoffen, diese Lücke ein Stück weit schliessen zu können.

Damit die Zellen lebender Organismen ihre Funktion ordnungsgemäss erfüllen können, müssen sie mit ihrer Umgebung kommunizieren können. Dazu verfügen sie über in ihre Membran integrierte Rezeptoren, zu denen auch die Familie der an die G-Proteine gekoppelten Rezeptoren (GPCRs) zählt. Deren biologische Funktion besteht darin, ein von aussen kommendes Signal zu erkennen und es mittels der G-Proteine, an die sie gekoppelt sind, ins Innere der Zelle zu übertragen.

Anwendungsbereiche:
Pharmakologie, Bioanalytik.

Der Ansatzpunkt für Medikamente

«Diese GPCRs stellen eine der wichtigsten Familien von Rezeptormolekülen dar», erläutert Vogel. «Daher bilden sie logischerweise den Ansatzpunkt für zahlreiche pharmazeutische Wirkstoffe. Ein erheblicher Teil der derzeitigen Medikamente zielt auf diese Membranrezeptoren ab, und es wird noch mit einer Steigerung gerechnet.»

Paradoxerweise liegen jedoch zahlreiche Aspekte dieser Rezeptoren noch im Dunkeln. Ihre Struktur sowie der exakte Übertragungsmechanismus der Signale auf molekularer Ebene sind in den allermeisten Fällen noch unbekannt. «Nur bei einem einzigen GPCR, dem Rhodopsin, konnte die Struktur bereits genau bestimmt werden», führt Vogel weiter aus. Rhodopsin ist der optische Rezeptor der Zellen der Regenbogenhaut. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um einen Sonderfall. Es gibt weitere GPCRs, die eine zentrale Rolle spielen bei der Übertragung von Nervensignalen, beim Geschmacks- und Geruchssinn usw.

Licht als Informationsquelle

«In Zusammenarbeit mit Susanna Cotecchia, ordentliche Professorin am Institut für Pharmakologie der Universität Lausanne, möchten wir eine zuverlässige und schnelle Methode zur Untersuchung der Signalübertragung zwischen dem G-Protein und seinem Rezeptor entwickeln.» Diese Methode basiert auf der Fluoreszenz-Spektroskopie. Dabei werden fluoreszierende Marker – kleine lichtemittierende Moleküle – auf die Membranrezeptoren aufgepfropft. Da das emittierte Licht äusserst umgebungsabhängig ist, lie-

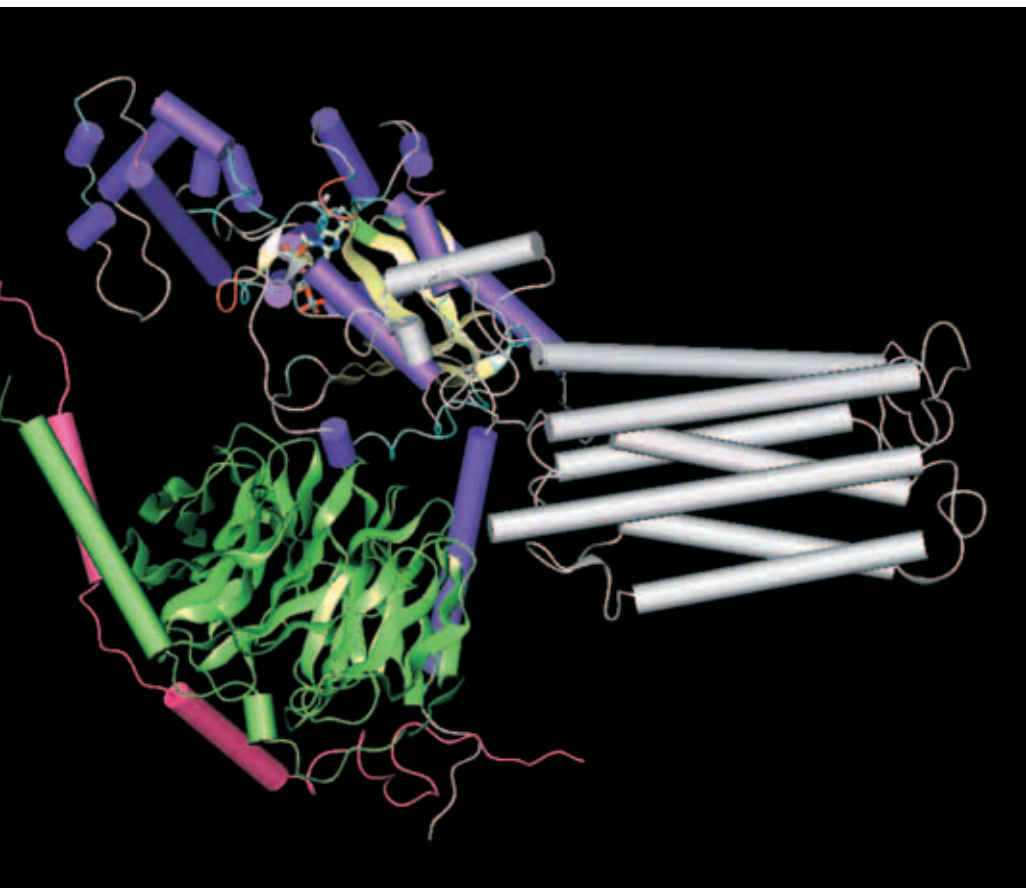


Horst Vogel

1948 in Würzburg in Deutschland geboren. Nach einem Chemiestudium an der Universität Würzburg erwarb er 1978 am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen mit einer Arbeit über die Struktur von Lipidmembranen den Doktorgrad. Anschliessend war er an einer Reihe von Forschungsinstituten tätig – am Max-Planck-Institut für Biologie in Tübingen, am Biozentrum in Basel und am Karolinska Institutet in Stockholm. 1994 wurde er als Professor an die Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne berufen, wo er das Labor für physikalische Chemie von Polymeren und Membranen leitet. Seine Forschungsarbeit erstreckt sich auf Struktur und Dynamik von Membranrezeptoren sowie auf Bioanalytik, Nanobiotechnologie und physikalische Chemie von Schnittstellen.

«In diesem Bereich ist der Weg von der Grundlagenforschung zur Anwendung sehr kurz.»

Modell der dreidimensionalen Struktur eines Komplexes aus einem Rezeptor und dessen G-Protein



fert es den Forschern zahlreiche Informationen. «So werden wir über die molekulare Struktur der Rezeptoren ins Bild gesetzt, über ihre Fähigkeit zur Bindung von Liganden sowie über die daraus resultierende Strukturänderung, die in direkter Beziehung zur Signalübertragung an das G-Protein und an das intrazelluläre System zur Signalverstärkung steht.»

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Strukturanalyse-Techniken von Proteinen wie Röntgenstrahlenbeugung oder Festkörper-Magnetresonanz kann die Fluoreszenz-Spektroskopie unter physiologischen Bedingungen durchgeführt werden, um beispielsweise eine einzelne lebende Zelle oder Zellteile zu untersuchen. «Daher können wir mit geringen Mengen, ja sogar mit einem Einzelmolekül arbeiten. So geben uns die Analysen unverzüglich Auskunft über die Rezeptorfunktionen und ermöglichen zugleich die

Untersuchung zahlreicher Rezeptoren und Wirkstoffe.»

Anwendungen liegen so fern nicht

Dieser Ansatz gehört klar in den Bereich Grundlagenforschung. «Er erfordert allerdings die Entwicklung einer neuen Methode und neuer Analysekonzepte, die in einem zweiten Schritt zur Entwicklung von Diagnoseinstrumenten führen könnten. Auf diese wartet die pharmazeutische Industrie dringend, um neue therapeutische Wirkstoffe entwickeln zu können. Doch noch ist das Zukunftsmusik.»

Teils von der Grundlagenforschung und teils von der anwendungsorientierten Seite her interessieren sich zahlreiche Forscherteams für die G-Proteine und ihre Rezeptoren.

«Sämtliche grossen Pharmaunternehmen erforschen diese Systeme. Auch im universitären Bereich herrscht beträchtliches Interesse. Es gibt nur wenige Methoden, die ein direktes Arbeiten mit der Struktur und der Funktion von Rezeptoren unter physiologischen Bedingungen erlauben. Hierin liegt die Originalität und zweifelsohne auch der Vorteil unseres Ansatzes», schliesst Vogel. ■

Modul III:
Sensoren und diagnostische
Werkzeuge

Kontakt:

Prof. Horst Vogel, Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes, EPFL Ecublens, 1015 Lausanne
Tel. 021 693 31 55
Fax 021 693 61 90
horst.vogel@epfl.ch
icpsg3.epfl.ch

Am Projekt Beteiligte:

Susanna Cotecchia, Ruud Hovius, Bruno Meyer, Jean-Baptiste Perez, Horst Pick, Laura Stanasila.

Kleinste Einzelmagnete

Magnetische Eigenschaften von Einzelmolekülen sind möglicherweise in zukünftigen Speicher-materialien von Bedeutung. Die Forschergruppe von Prof. Hans-Ulrich Güdel an der Universität Bern synthetisiert solche Strukturen und analysiert deren magnetisches Verhalten. In den ersten 18 Monaten des Forschungsprojekts konnten verschiedene neue Strukturen synthetisiert und ein wichtiger Grundlagenbeitrag zum Verständnis des magnetischen Verhaltens von Molekülen geleistet werden.

In den Labors von Hans-Ulrich Güdel, Professor für anorganische und physikalische Chemie an der Universität Bern, stehen Unmengen von Probenfläschchen, die grüne oder rotbraune Lösungen enthalten. «Grün ist die typische Farbe von Nickel-lösungen und Rotbraun von Mangan», erklärt Güdel. Im Rahmen des NFP 47 synthetisiert seine Forschungsgruppe molekulare Magnete im Nanomassstab und untersucht deren magnetische Eigenschaften. Es handelt sich um Strukturen mit mehreren Metallionen, die in ein Gerüst von Liganden ein-

gebaut sind, die durch ihre Wirkung als Brückenbildner das Ganze zusammenhalten.

Diese sogenannten «Spin-Cluster» stellen eine neue Klasse von anorganischen Verbindungen dar und weisen spezifische magnetische Eigenschaften auf. Molekulare Magnete haben das Potenzial, eines Tages als Materialien für die Informationsspeicherung eingesetzt zu werden. «Es ist noch viel Grundlagenforschung notwendig, um dieses Potenzial überhaupt einschätzen zu können. Aber wir wissen, dass für die weiterschreitende Miniaturisierung von Prozessoren und Speichereinheiten neue Materialien notwendig sind. Das Schlagwort «Quantum Computing» weist auf neue Technologien hin, bei welchen Quantenphänomene eine Rolle spielen werden. Unsere Einzelmolekülmagnete sind so klein, dass zum Beispiel Quanten-Tunnel-Effekte tatsächlich auftreten.» Für die Berner Forschungsgruppe besteht die Herausforderung des Projekts in zwei Punkten: Der Synthese von stabilen Clustern und in der Untersuchung deren magnetischen Eigenschaften.

«Unsere wichtigste Methode ist die inelastische Neutronenstreuung.»



Hans-Ulrich Güdel

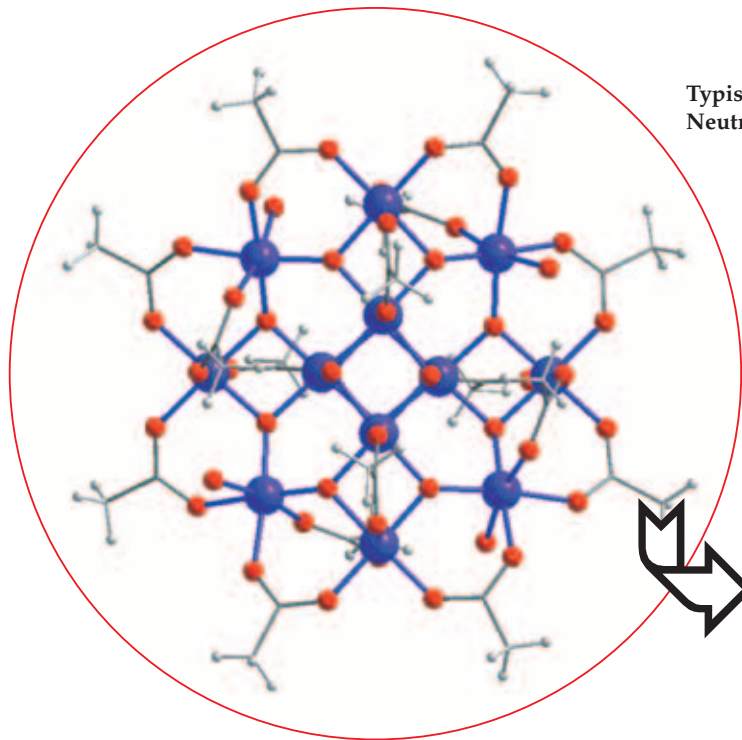
Chemiestudium in Bern, anschließend Postdoc in Kopenhagen und Canberra. Seit 1978 ist er Professor in Bern. Zweimal verbrachte er ein Sabbatical in Kalifornien.

Forschungsinteressen im Bereich Chemie und Physik mit einem Schwerpunkt in Richtung Materialwissenschaften, zum Beispiel neuartige Lichtemissionsprozesse in anorganischen Materialien mit Anwendungsmöglichkeiten als Leuchtstoffe für Bildschirme, Beleuchtung, Lasermaterialien und Szintillatoren. Zudem Erforschung der magnetischen Eigenschaften sogenannter «Spin-Cluster» und «Einzelmolekülmagnete» mit Anwendungsmöglichkeiten in der Informationsspeicherung.

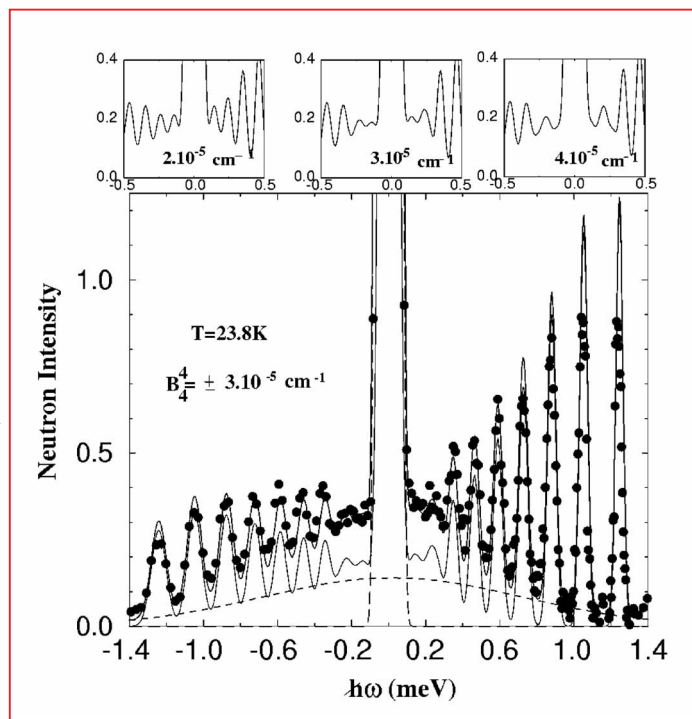
Anwendungsbereich:
Informationsspeicherung.

Internationale Zusammenarbeit

Für die Messung der magnetischen Eigenschaften wird mit Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt gearbeitet. Ein Teil der Analytik wird am institutseigenen modernen Magnetometer bei 1,5 Kelvin ausgeführt. «Unsere wichtigste Methode ist aber die inelastische Neutronenstreuung. Die Neutronen geben dabei einen Teil ihrer Energie an das untersuchte Molekül



Typisches Spektrum für inelastische Neutronenstreuung an Mangan-12-Acetat



ab. Aus der Energiedifferenz erhalten wir Informationen über die magnetischen Elementaranregungen unserer Moleküle», erläutert Güdel. «Am Paul Scherrer Institut (PSI) haben wir Zugang zu einer so genannten Spallationquelle, bei der die Neutronen nicht durch Kernreaktionen entstehen, sondern durch die Kollision eines Protonenstrahls mit einem Targetmaterial.» Messungen werden aber auch am Institut Laue-Langevin in Grenoble, am Hahn-Meitner-Institut in Berlin oder am englischen Rutherford Lab gemacht. Weil an diesen hochkarätigen Instituten die Messzeiten sehr selektiv zur Verfügung gestellt werden, ist diese internationale Zusammenarbeit ein Qualitätsbeweis für das Berner Forschungsprojekt. Weitere Projektpartner sind Forschungsgruppen in Deutschland, Spanien, Frankreich, England und den USA.

Highlights der ersten 18 Monate

«Es ist uns in den ersten 18 Monaten des Programms NFP 47 gelungen, unter Verwendung von Citrat als Ligand Spin-Cluster mit 7, 8 und 21 Ni²⁺-Ionen herzustellen. Wir brauchen Moleküle mit mehreren Metall-

ionen und einem hohen Gesamtspin. Das Ziel ist eine Erhöhung der Temperatur, bei der die Quanten-Tunnel-Effekte unterdrückt werden.» Das zweite Highlight betrifft den physikalischen Bereich. Ein Forschungspartner, die Gruppe von George Christou aus Florida, stellte den Bernern verschiedene Cluster mit Mangan-(Mn³⁺/Mn⁴⁺-)Ionen und unterschiedlichen Liganden für die Neutronenstreuung zur Verfügung. «Wir konnten zeigen, auf welchem Mechanismus die Korrelation zwischen chemischer Struktur und magnetischen Eigenschaften beruht. Wir können dieses Resultat direkt den theoretischen Physikern zur Verfügung stellen und damit das allgemeine Verständnis für magnetisches Verhalten verbessern. Für unsere weitere Forschung ist die Ergründung solcher Mechanismen Voraussetzung», freut sich Güdel.

Für ihn ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit einer der Erfolgsfaktoren. «Dass die Physiker und die synthetisch tätigen Chemiker die Probleme gemeinsam angehen, hat unserem Forschungsgebiet grossen

Modul IV: Molekulare Magnete

Fortschritt gebracht. Wir sind zwar noch stark im Stadium der Grundlagenforschung und weit weg von der praktischen Umsetzung, aber mit dem Einbringen von transdisziplinären Komponenten nimmt die Chance für einen Durchbruch zu.» ■

Kontakt:

Prof. Hans-Ulrich Güdel, Departement Chemie, Universität Bern, Freiestrasse 3, 3000 Bern
Tel. 031 631 42 49
Fax 031 631 43 99
hans-ulrich.guedel@iac.unibe.ch
dcbwww.unibe.ch/groups/guedel

Am Projekt Beteiligte:

Reto Basler, Colette Boskovic, Gregory Chaboussant, Mark Murrie, Stefan Ochsenbein, Andreas Sieber.

Neue Dynamik für Ihre Kommunikation




in den Bereichen Bildung, Wissenschaft, Technologie und Innovation

Kommunikationsberatung

- > integrierte Kommunikation
- > strategische Einzelmassnahmen

Publishing & Informationsmanagement

- > Magazine, Broschüren und Prospekte
- > Inter- und Intranetformate

In Zusammenarbeit mit  **DISTEFORA**
Media

Multimediatechnologien und -dienste

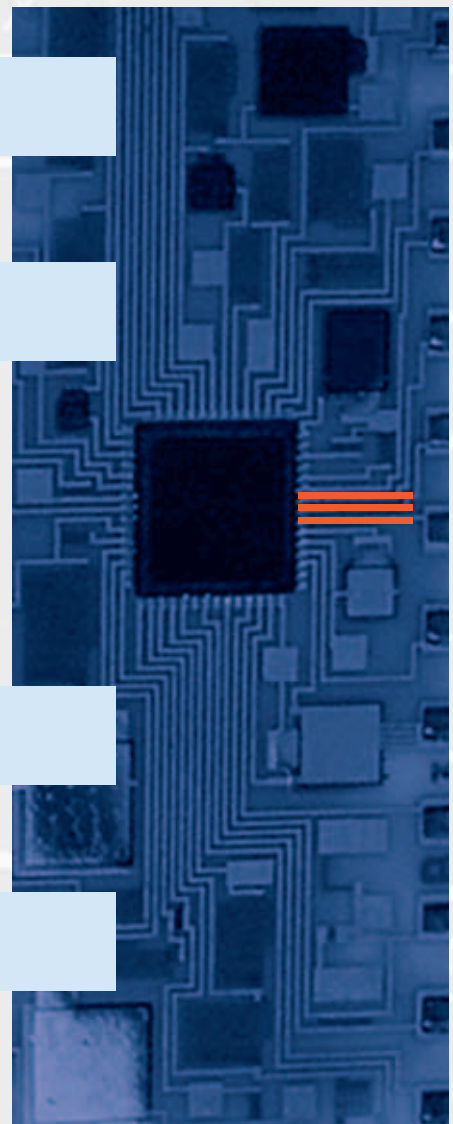
- > DVD, Video, 3D-Animationen
- > Web- und Business-TV

Projekte & Events

- > Themen- und Erlebnisparks
- > Museumsdesign

science **com** ag

Thunstrasse 7 Tel. 031 356 53 53 vision@sciencecom.ch
CH-3005 Bern Fax 031 356 53 50 www.swiss-science.org



James K. Gimzewski
Department of Chemistry
and Biochemistry
UCLA
607 Charles E. Young
Drive East
Box 951569
Los Angeles,
CA 90095-1569
United States
gim@chem.ucla.edu
www.chem.ucla.edu/
dept/Faculty/gimzewski/
index.html

Hanspeter Schelling
Novartis International AG
Group Technology
R. 1001.4.41
4002 Basel
hanspeter.schelling@
novartis.com
www.novartis.com

Ulrich W. Suter
Department of Materials
Institute of Polymers
ETH Zentrum – CNB E 92
Universitätsstrasse 6
8092 Zürich
suter@ifp.mat.ethz.ch
mat.ethz.ch/d-werk/
ifp/ifp.html

Fritz Vögtle
Kékulé-Institut für
Organische Chemie
und Biochemie
Universität Bonn
Gerhard-Domagk-Strasse 1
D-53121 Bonn
Germany
voegt@uni-bonn.de
www.chemie.uni-bonn.de/
oc/ak_vo/default.html

Wissenschaft- licher Berater der Leitungsgruppe

Marcel Mayor
Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH
Institut für Nanotech-
nologie
Postfach 3640
D-76021 Karlsruhe
Tel. +49 724 782 63 53
Fax +49 724 782 63 69
marcel.mayor@int.fzk.de
www.fzk.de/int

Referent

Thomas Kaden
Institut für anorganische
Chemie
Spitalstrasse 51
4056 Basel
Tel. +41 61 267 10 06
Fax +41 61 267 10 20
th.kaden@unibas.ch

Geschäftsstelle

Stefan Husi
Schweizerischer National-
fonds
Abteilung IV
Wildhainweg 20
3001 Bern
Tel. +41 31 308 22 22
Fax +41 31 305 29 70
shusi@snf.ch
www.snf.ch

Umsetzungs- beauftragter

Urs Aeberhard
Science Com AG
Thunstrasse 7
3005 Bern
Tel. +41 31 356 53 53
Fax +41 31 356 53 50
urs.aeberhard@
sciencecom.ch
www.swiss-science.org

Leitungsgruppe

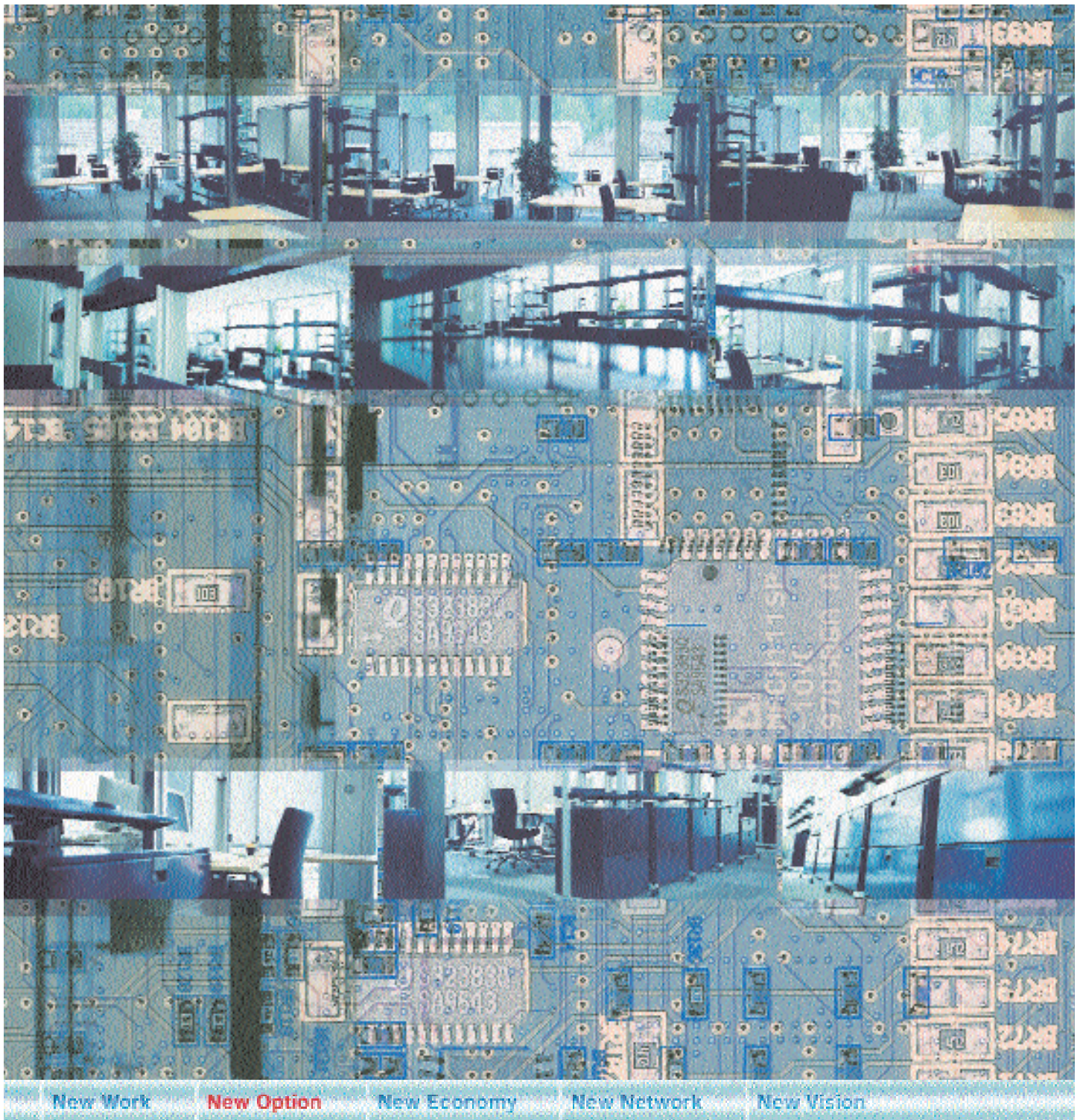
Andreas Ludi (Präsident)
Departement Chemie
und Biochemie
Universität Bern
Freiestrasse 3
3012 Bern
andreas.ludi@iac.unibe.ch

Peter Day
David Faraday Research
Laboratory
The Royal Institution of
Great Britain
21 Albemarle Street
London W1S 4BS
United Kingdom
pday@ri.ac.uk
www.ri.ac.uk/DFRL

www.nfp47.ch



Das NFP 47 betreibt eine dreisprachige Website: deutsch, französisch und englisch. Das Angebot richtet sich gleichermaßen an Laien und Wissenschaftler. Erstere erhalten unter den Rubrik «Supramolekulare Welt» eine Einführung in das Gebiet der supramolekularen funktionalen Materialien. Letztere finden auf der Website aktuelle Meldungen und Veranstaltungshinweise zum Forschungsgebiet sowie zahlreiche weiterführende Links.



eleven22

New Option

Der Wandel der Märkte und der technologische Fortschritt verlangen Veränderungen bei den Organisationsstrukturen, den Arbeitsformen und den Arbeitsprozessen.

eleven22, das flexible Office System – offen für Veränderungsprozesse.

Weitere Informationen finden Sie unter www.eleven22.com

USM U. Schärer Söhne AG, CH-3110 Münsingen
Tel. 031 720 72 72, Fax 031 720 72 38, info@ch.usm.com, www.usm.com

USM
Möbelbausysteme