

ABSCHLUSS DES NATIONALEN FORSCHUNGSPROGRAMMS «CHEMIE UND PHYSIK AN OBERFLÄCHEN» – VORSTOSS IN DEN NANOMETERBEREICH

Das 1988 vom Schweizerischen Nationalfonds lancierte Nationale Forschungsprogramm «Chemie und Physik an Oberflächen» (NFP 24) ist abgeschlossen. Es hat die Basis für die Entwicklung der Nanowissenschaften und -technik gelegt und einen ersten Schritt zu kontrollierten Veränderungen innerhalb atomarer Dimensionen ermöglicht. Dieses zukunftssträchtige Wissenschaftsgebiet soll mit dem neuen Nationalen Forschungsprogramm «Nanowissenschaften» (NFP 36) weiter gefördert werden.

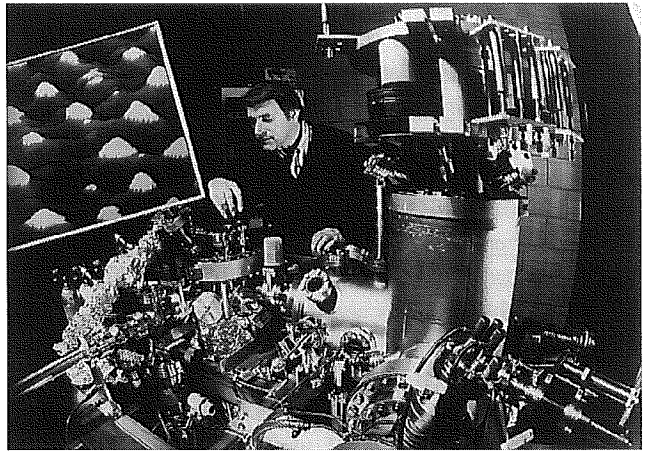
Den Einblick in die Welt der Atome hat das Rastertunnelmikroskop ermöglicht. Für dessen Erfindung erhielten die beiden IBM-Forscher Heinrich Rohrer und Gerd Binnig 1986 den Nobelpreis. Zwei Jahre später wurde das Nationale Forschungsprogramm «Chemie und Physik an Oberflächen» (NFP 24) lanciert. Bei der Projektförderung legte die Expertengruppe besonderes Gewicht auf die von praktischen Problemen inspirierte, wissenschaftlich motivierte Grundlagenforschung. An 21 von total 44 Forschungsprojekten beteiligten sich Forschungsabteilungen von Industrieunternehmen; ebenso viele erfolgten in Zusammenarbeit mit ausländischen Hochschulen. Untersucht wurden reale Oberflächen der unbelebten Natur. Oberflächen im Sinne des NFP 24 zeigen eine Ausdehnung von 100 Nanometer bis hinunter in atomare Dimensionen (der Durchmesser eines Atoms beträgt ungefähr 1/4 nm).

Nun ist das mit 15 Millionen Franken dotierte Forschungsprogramm abgeschlossen. An einer Schlussstagung in Bern wurden Ende Januar 1995 Resultate präsentiert, Bilanz über das gesamte Programm gezogen und der Schlussbericht vorgelegt. Jedes Forschungsprojekt von NFP 24 hat in seiner Art Neues beigetragen: Hauptsächlich waren es neue Methoden und Instrumentierung und damit gewonnene Erkenntnisse (siehe auch Vierteljahrsschrift NGZ 139, 43–44, 97–98). Neues «Sehen» und Verstehen ist der Anfang, um etwas besser, aber vor allem um etwas Neues zu machen.

Neue Erkenntnisse für Wissenschaft und Anwendung

Eine Gruppe unter Leitung von Wolf Dieter Schneider, Professor am Institut für Experimentalphysik der Universität Lausanne, sorgte weltweit für Aufmerksamkeit, als sie erstmals gezielt einzelne Moleküle auf einer Oberfläche zum Leuchten bringen konnten. Das am IBM-Forschungslabora-

torium in Rüschlikon eigens für diese Arbeiten entwickelte und gebaute Tieftemperatur-Raster-Tunnelmikroskop spielt dabei eine entscheidende Rolle. Das zentrale Element dieses Gerätes ist eine mikrofeine Spitze, die sich im Abstand von Nanometern über die Moleküle auf der Probenoberfläche führen lässt. Dabei können die von der Spitze zur Probe fließenden Elektronen die Moleküle zum Aussenden von Licht anregen. Anhand des Lichtspektrums können die Forscher bestimmte Moleküle identifizieren.



Tieftemperatur-Raster-Tunnelmikroskop, mit dem erstmals einzelne Moleküle gezielt zur Lichtemission angeregt werden konnten. Links im Bild sind leuchtende C₆₀-Moleküle auf einer Goldoberfläche als helle Buckel deutlich sichtbar (Bild H.R. Bramaz, Adliswil, für Schweiz. Nationalfonds, Bern).

Forscher des Neuenburger Centre d'Electronique et de Microtechnique haben ergründet, was sich bei Reibung, Verschleiss und Schmierung im Detail abspielt. Die volkswirtschaftlichen Verluste, die durch Abnutzung, Pannen, Reparaturkosten und Ausfallzeiten in den Industrieländern anfallen, machen jährlich riesige Summen aus. Das Neuenburger Team unter der Leitung von Rainer Christoph hat herausgefunden, dass elektrische Spannungen die Gleiteigenschaften der Schmiermittel stark beeinflussen. Solche Spannungen entstehen aufgrund elektrochemischer Vorgänge im Bereich der häufig mit einem Wasserfilm bedeckten Oberflächen.

Nano-Kristalle nach Mass

Wie lassen sich Kristallkörner in der Grösse von einigen Nanometern in grösseren Mengen nach Mass herstellen? Dieser Aufgabe gingen Wissenschaftler am Institut für Physikalische Chemie der Universität Basel nach. Das Team unter Leitung von Professor Hans-F. Eicke untersuchte, wie sich die Eigenschaften von Materialien ändern, sobald die

Kristalle, aus denen sie gebaut sind, eine kritische Grösse unterschreiten. Um Materialeigenschaften kleinster Kristalle messen zu können, arbeiten die Wissenschaftler mit Pulvern, die jeweils aus Kristallkörnern einer einheitlichen Korngrösse bestehen. Diese Körner stellt die Forschergruppe nach einer ganz neuen, teilweise selbstentwickelten Methode her: Die Kristalle werden in 5 bis 50 Nanometer kleinen Wassertröpfchen gezüchtet, die in Öl fein verteilt sind. Durch Verändern der Tröpfchengrösse können Kristallkörner nach Mass gezüchtet werden.

Genaue Kenntnisse der Oberflächenbeschaffenheit von technisch genutzten Materialien sind in vielen Industriezweigen von grösstem Interesse. So konnte beispielsweise ein Hersteller von Filmmaterial dank dem Rasterkraftmikroskop am Institut für Physik der Universität Basel wichtige Informationen über den Filmaufbau gewinnen. Der Blick in den Nanometerbereich zeigte der Forschergruppe unter Leitung von Professor Hans-J. Güntherodt die stufenartige Anordnung der lichtempfindlichen Silberbromidkristalle. Der Industriepartner zog daraus seine Konsequenzen und reichte die Kornoberflächen mit Stufen an, was die Lichtempfindlichkeit seiner Farbfilme wesentlich erhöhte.

Im Rahmen des NFP 24 wurde auch ein Pilotprojekt durchgeführt. Dieses hatte das Ziel, die Industrie zu einem frühen Zeitpunkt an einer neuen wissenschaftlichen und technischen Entwicklung teilnehmen zu lassen und sie so auf den kommenden Präzisionsstandard, den Nanometer, vorzubereiten. Während des zweijährigen Projektes konnten Interessenten kostenlos Oberflächen-Strukturbestimmungen und Rauheitsmessungen an verschiedensten Proben durchführen lassen. Bei diesem Pilotprojekt zeigte die Schweizer Industrie an der kommenden Nanowelt ein eher bescheidenes Interesse, wie Heinrich Rohrer vom IBM-Forschungslaboratorium in Rüschlikon im Schlussbericht schreibt.

Literatur

Schlussbericht NFP 24: Chemie und Physik an Oberflächen. Zu beziehen beim Schweizerischen Nationalfonds, Abt. IV, Postfach, 3001 Bern.

GENETISCHE VIelfALT BEI WALDBÄUMEN – EINE VORAUSSETZUNG FÜR DAS ÜBERLEBEN DER WÄLDER

Vor vier Jahren wurde an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf das erste forstgenetische Labor der Schweiz eingerichtet.

tet. Was wissen die Forscher und Forscherinnen heute über die genetische Vielfalt von Waldbeständen? Das Forum für Wissen 1995 an der WSL gab Auskunft und orientierte über Massnahmen zum Schutz genetischer Ressourcen von Waldbäumen.

Die forstgenetische Forschung hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Dies nicht zuletzt deshalb, weil die Bedrohung der genetischen Vielfalt von Waldökosystemen auch auf politischer Ebene ein Thema wurde. So sprachen sich die Politiker an den Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder in Strassburg (1990) und Helsinki (1993) sowie auf der Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio (1992) für den Schutz der biologischen Vielfalt aus.

Damit diese politischen Forderungen durchgesetzt werden können, muss der Schutz genetischer Ressourcen in der Forstpolitik und in der Gesetzgebung verankert werden. «Die Resultate aus forstgenetischen Untersuchungen liefern dazu wichtige Entscheidungshilfen», erklärte Gerhard Müller-Starck am Forum für Wissen 1995 an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf. Müller-Starck war bis vor kurzem Leiter der Gruppe Forstgenetik an der WSL und ist jetzt Professor an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München.

Isoenzyme und DNS-Marker

Das Ziel der Forstgenetiker ist es, die genetische Vielfalt innerhalb und zwischen Waldbeständen zu erfassen. Sie interessieren sich aber auch für deren Dynamik: Wie wirken sich zum Beispiel Waldbewirtschaftung und Umweltstress auf die genetische Vielfalt aus? Für die Ermittlung der genetischen Variation nutzen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen Isoenzyme – Enzyme also, die jeweils dieselbe biochemische Reaktion katalysieren, sich aber aufgrund evolutionärer Prozesse in ihrer molekularen Struktur und in ihren physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Die verschiedenen Varianten eines solchen Enzymsystems lassen sich durch Gel-Elektrophorese identifizieren. Neuere molekulargenetische Methoden verwenden DNS-Marker. Zurzeit entwickeln Wissenschaftler an der WSL gemeinsam mit 11 anderen Arbeitsgruppen in einem Verbundprojekt der Europäischen Union solche molekularbiologischen Verfahren, um sie für genetische Inventuren in Waldbeständen anwenden zu können.

... Isoenzym-Analysen haben gezeigt, dass Waldbaumpopulationen im Vergleich zu anderen Pflanzen eine sehr hohe

genetische Variation aufweisen: So beträgt der mittlere Heterozyotiegrad bei europäischen Nadel- und Laubbaumarten durchschnittlich 25,1 bzw. 23,0%, bei nicht-baumartigen Dikotyledonen jedoch nur 11,3% und bei Monokotyledonen 16,5%. Auch die mittlere Anzahl von Genen pro Genort (Allele) unterscheidet sich deutlich: 2,2 bzw. 2,7 sind es bei den Baumarten, 1,4 bzw. 1,7 bei den Referenzarten. Welche Konsequenzen dies für die genetische Variabilität hat, demonstrierte Müller-Starck am Beispiel der Fichte (*Picea abies*), die in den bisherigen Inventuren in der Schweiz durchschnittlich 2,5 Allele pro Genort aufweist. Als Vergleich dient der für Monokotyledonen nachgewiesene Durchschnittswert von 1,7 Allele pro Genort. Berechnet man die Anzahl genetisch verschiedener Individuen, die auf der Basis von 18 Genorten potentiell gebildet werden können, so zeigen sich eindruckliche Unterschiede. Für die Fichte ergibt sich eine Individuenzahl von 76 527 504 000, für die Monokotyledonen 472 392. Dies bedeutet eine Relation von 162 000:1 zugunsten der Baumart. Nimmt man durchschnittlich 400 Bäume pro Hektare an, so würde die Fichte eine Waldfläche von 191 318 760 ha (1,9 Millionen km²) benötigen. Dies entspricht dem 161fachen der Gesamtwaldfläche der Schweiz.

Die hohe genetische Variation ist sinnvoll, denn Bäume sind extrem langlebig. Während ihrer Generationsdauer von einigen Jahrzehnten bis zu mehreren Jahrhunderten sind sie vielfältigen Belastungen ausgesetzt. Frost, Trockenheit, Krankheiten und Schadstoffe stellen hohe Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit der Baumpopulationen. Je grösser die genetische Vielfalt der Bäume ist, desto grösser ist die Chance, dass diese Anpassung gelingt.

Generhaltung am Standort

Gerhard Müller-Starck fordert eine Forstwirtschaft, die Waldbestände unter Wahrung des Anpassungspotentials bewirtschaftet und wiederbegründet. Um eine genetische Destabilisierung zu vermeiden, schlägt er zum Beispiel vor, bei der künstlichen Bestandesbegründung überdurchschnittlich variables Vermehrungsgut und enge Pflanzabstände (Erhöhung der Populationsdichte) zu bevorzugen. Genetische Variabilität muss in Waldbeständen präsent sein und dort erhalten werden.

Als ergänzende Massnahme zur Erhaltung der natürlichen genetischen Vielfalt von Waldbaumarten in der Schweiz arbeitet die WSL-Gruppe zusammen mit der Professur für Waldbau der ETH Zürich an einem Netz von Genreservaten. Die Forstwissenschaftler der ETH suchen dafür geeignete

Gebiete aus und errichten sie mit den zuständigen Forstdiensten. Wichtiges Kriterium für die Auswahl sind die Ergebnisse der genetischen Untersuchungen.

Ein erstes Genreservat für Eichen wurde vor kurzem im Staatswald Galm im Kanton Fribourg ausgeschieden. Innerhalb des Genreservates wird ausschliesslich mit natürlicher Verjüngung gearbeitet; fremdes Erbmateriale darf nicht eingeführt werden, um eine Hybridisierung mit weniger angepasstem Erbgut zu vermeiden. Für die Zukunft ist ein ganzes Netz von Genreservaten für Fichten, Eichen, Buchen und Weisstannen geplant.

Die bisherigen genetischen Untersuchungen in der Schweiz haben gezeigt, dass die genetische Variation innerhalb der Fichtenbestände gross ist, während diejenige zwischen den verschiedenen Versuchsflächen vergleichsweise gering ist. Dieser Befund ist wichtig für die Einrichtung von Genreservaten: Für den Erhalt der Biodiversität der Fichte ist es besser, wenige grosse Flächen auszuscheiden als viele kleine. Bei der Weisstanne zeichnet sich ein entgegengesetzter Trend ab.

Gemäss Gerhard Müller-Starck sollten Erhaltungsmassnahmen *in situ* stets einer Konservierung von Vermehrungsgut in Samenbanken vorgezogen werden, weil letzteres die genetische Variation auf dem Istzustand festhält und Anpassungsvorgänge unterbricht. Er warnte auch vor genetischen Manipulationen im Ökosystem Wald, deren Auswirkungen nicht abschätzbar seien.

Literatur

MÜLLER-STARCK, G., HUSSENDÖRFER, E. & SPERISEN, C. 1995. Genetische Diversität bei Waldbäumen – eine Voraussetzung für das Überleben unserer Wälder. In: «Erhaltung der Biodiversität – eine Aufgabe für Wissenschaft, Praxis und Politik. Forum für Wissen 1995», pp. 23–32. – Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 59 pp. Bezugsadresse: Bibliothek WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf.

WELTRAUMTAUGLICHER BIOREAKTOR AUS DER SCHWEIZ

Die Gruppe Weltraumbiologie der ETH Zürich unter Leitung von Augusto Cogoli gehört zu den weltweit führenden Forschergruppen in diesem Bereich. Seit 1977 beschäftigt sie sich mit biologischer Grundlagenforschung in der Schwerelosigkeit, mit Fragen der Immunoabwehr von Astronauten und mit der Entwicklung von Geräten, die den Anforderungen der bemannten Raumfahrt entsprechen.

Einen wichtigen Erfolg hatten die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen am ETH-Technopark mit der Entwicklung eines Mini-Bioreaktors zu verzeichnen (WALTHER et al., 1994). Dieses Gerät wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Mecanex SA in Nyon und dem Institut für Mikrotechnologie der Universität Neuchâtel realisiert und kam bei der Space-lab-Mission im Juli 1994 erstmals im Weltraum zum Einsatz. Zuvor musste der Bioreaktor aber eine Reihe von Tests bestehen. Die dabei durchgeführten Biokompatibilitäts-, Vibrations- und elektromagnetischen Verträglichkeitsprüfungen nützen direkt auch der «irdischen» Praxis (Erprobung von neuen Werkstoffen und Qualitätskontrolle von hochentwickelten Instrumenten für Biologie und Medizin).

Der Bioreaktor erlaubt die kontinuierliche Züchtung von Hefezellen (*Saccharomyces cerevisiae*) unter genau definierten Bedingungen. Die Gruppe Weltraumbiologie wählte die Bäckerhefe als Modellorganismus, weil sie zum Beispiel einfach zu kultivieren ist, in der Literatur gut beschrieben ist und sehr empfindlich auf limitierende Faktoren reagiert.

Extrem kompaktes Instrument

Dank Silicon-Mikrotechnologie misst der Bioreaktor nur 87x63x63 mm und wiegt 610 g – wichtige Voraussetzungen für eine Mission im All, wo Platz und Gewicht begrenzt sind. Das Gerät besteht aus einer Kulturkammer, Reservoirs für Frischmedium und verbrauchtes Medium und wird durch eine Mikropumpe betrieben. Mikrosensoren überwachen pH, Temperatur und Redox-Potential. Der pH-Wert wird durch Hydrolyse von Wasser reguliert. Die von den Mikrosensoren gemessenen Werte werden während des Fluges laufend zur Bodenstation übermittelt.

Die Spacelab-Mission hat gezeigt, dass der Bioreaktor ein taugliches Gerät für die langdauernde Züchtung von Zellen im Weltraum ist. Somit können die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen das Verhalten von einzelnen Zellen in einer neuen und während der Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde nie dagewesenen Umgebung wie der Schwerelosigkeit studieren. Durch einen zeitweisen Ausfall der Mikropumpe in einem der zwei Bioreaktoren an Bord konnten einige Ziele des Experiments nicht erreicht werden. Trotzdem wurden viele interessante biologische Daten über das Verhalten von Hefezellen in der Schwerelosigkeit gewonnen. Bis die Daten bezüglich Wachstumsrate, Zellmorphologie, Ultrastruktur und Stoffwechsel aber vollständig ausgewertet sind, wird es gemäss Augusto Cogoli noch Monate dauern. Die Zürcher Forschergruppe hat bereits Pläne für eine Wiederholung des Experimentes mit einer verbesser-

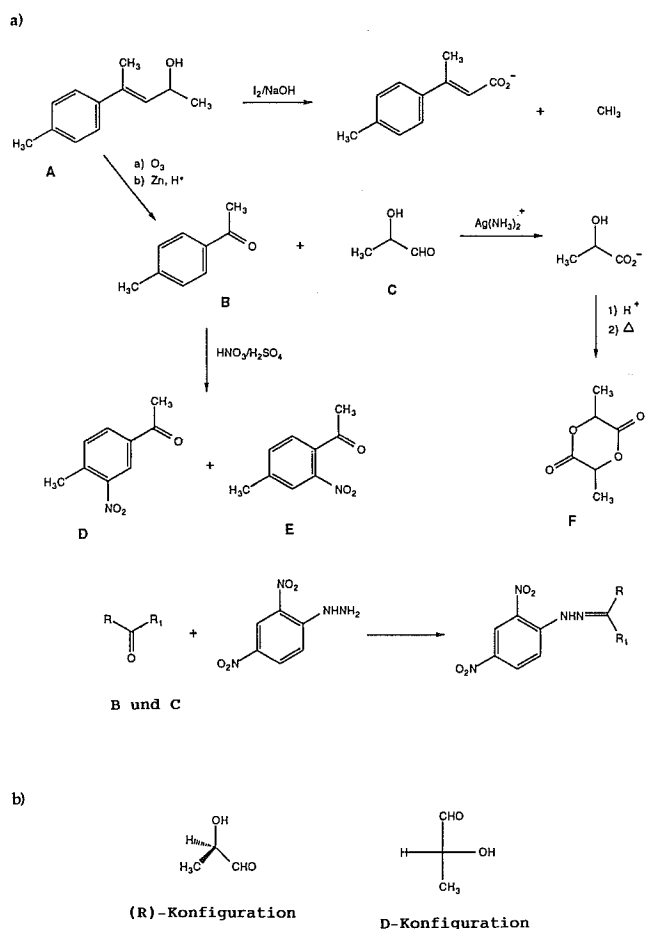
ten Mikropumpe. Zudem ist geplant, den Bioreaktor für Säugerzellen zu adaptieren.

Literatur

WALTHER, I., VAN DER SCHOOT, B.H., JEANNERET, S., ARQUINT, P., DE ROOIJ, N.F., GASS, V., BECHLER, B., LORENZI, G. & COGOLI, A. 1994. Development of a miniature bioreactor for continuous culture in a space laboratory. – J. Biotechnol. 38, 21–32.

CHEMIE-OLYMPIADE 1994 FÜR GYMNASIASTEN

Antwort zur wahrhaft olympischen Frage, welche in Heft 4, 1994, auf Seite 181 abgedruckt wurde:



SUSANNE HALLER-BREM