



# Forschen im Nano-Maßstab

## Visionen für das noch junge Jahrtausend: Zwei Lichtenberg-Professoren in Bayreuth und Regensburg setzen sich an die Spitze ihrer Wissenschaften.

Mit exzellenter Forschung ein sichtbarer Kopf in der Wissenschaftslandschaft werden – das gelingt mithilfe einer Lichtenberg-Professur. Fünf bis acht Jahre lang unterstützt die Stiftung herausragende Wissenschaftler dabei, ihr Forschungsfeld an einer Universität ihrer Wahl fest zu verankern. Die Professoren speisen frische Strategien in das traditionelle Hochschulsystem ein und brechen auf diesem Weg bestehende Strukturen auf. So werden Visionen zu Realitäten, ohne dass diese an akademischen Krusten zerschellen.

Großzügig ausgestattet, unbürokratisch in der Handhabung, exzellent in seiner Konzeption: Mit diesen Stichworten beschreiben Alexander Böker und Jascha Repp „ihr“ Förderinstrument. Sie sind Lichtenberg-Professoren der dritten Wettbewerbsrunde, wurden im Sommer 2006 in das Programm aufgenommen und begannen wenige Monate später mit ihrer Arbeit. Sie sind jung, Experten auf ihrem Gebiet und wagen kreative Forschung, die von Visionen und Risikobewusstsein getragen wird. Sie sind enthusiastische Wissenschaftler, die eine brillante Idee hatten, die sie mithilfe der Lichtenberg-Professur nun umsetzen können. Und beide tun das mit offenkundiger Begeisterung.

„Diese Membran hat nanoskopische Poren, die nur einzelne Moleküle durchlassen – und das Besondere ist, dass tatsächlich alle Poren gleich groß sind.“ Alexander Böker sprüht regelrecht, wenn er von seiner Arbeit erzählt, und immer schwingt dabei ein leises Lachen mit. Mit einer Pinzette bewegt er vorsichtig eine hauchfeine, schwimmende Membran in einer Petrischale. Sie ist nicht einmal so groß wie eine Briefmarke, erinnert an eine auf Wasser schwimmende Eihaut und ist – indirekt – der Grund, weshalb Alexander Böker Lichtenberg-Professor wurde. „Nanoporen werden bisher mit klassischer Kunststofftechnik hergestellt. Das funktioniert zwar, aber diese Poren sind unregelmäßig, chemisch tot, stoßen Wasser ab und sind deshalb in der Praxis recht nutzlos.“ Will sagen: Dieser Entwicklungszweig ist in einer Sackgasse angekommen. „Also braucht man Alternativen“, fügt er mit Nachdruck hinzu. Und die entwickelt Alexander Böker in Bayreuth am Lehrstuhl für Physikalische Chemie. Unterstützt wird er dabei von der VolkswagenStiftung mit rund 1,1 Millionen Euro.

Mit seinen feinen Kunststoffmembranen, die Nanoporen mit definierter Größe vorweisen, verfolgt er das Ziel, Container oder Transporter herzustellen für



Papierstapel statt Petrischale: Neben der Laborarbeit fällt bei Lichtenberg-Professor Dr. Alexander Böker von der Universität Bayreuth auch die übliche Büroarbeit an wie etwa Anträge bearbeiten oder Veröffentlichungen korrigieren.

Eine kleine Stahlkammer ist bislang „Arbeitsmittelpunkt“ von Lichtenberg-Professor Dr. Jascha Repp in Regensburg (großes Bild links): Mit dem darin im Ultrahochvakuum installierten Rastertunnel-Mikroskop untersucht er auf atomarer Ebene die Eigenschaften von Adsorbaten auf Isolatoroberflächen.

darin eingeschlossene Zellen oder medizinische Wirkstoffe. Eine – gemeinsam mit Kooperationspartnern – konkret in den Blick genommene Anwendung ist die Behandlung der Autoimmunkrankheit Diabetes mellitus vom Typ I. Bei Zuckerkranken zerstört deren eigenes Immunsystem die Zellen, die das lebenswichtige Insulin produzieren. Gelingt es Alexander Böker, Insulin produzierende Zellen in seine Kapseln einzuschließen, könnten diese Behälter in einem nächsten Schritt in die Bauchspeicheldrüse der Patienten eingepflanzt werden, wo sie ihre Fracht freigeben. „Die Porengröße unserer Membranen lässt sich nun exakt so definieren, dass die Angreiferzellen des Immunsystems nicht durch sie hindurchpassen – und die Insulinproduktion folglich geschützt ist.“ Damit könnten Diabetiker geheilt werden.

Aber nicht nur Zellen, auch Wirkstoffe möchte der Chemiker verkapseln. Und er wäre kein Lichtenberg-Professor, wenn er bei Kapseln an einfache Hüllen ohne weitere Funktionen denken würde. Nein, seine Kapseln sollen sich „schalten“ lassen. Er möchte Wirkstoffe – etwa gegen Krebs – in seine Membranen einschließen, und diese sollen sich dann erst im Tumor öffnen. Wie das gehen soll? Alexander Böker ist in seinem Element, wenn er erzählt, dass er seine Poren mit Funktionen versehen will, die sich wie eine Pforte öffnen, wenn sie von außen ein chemisches Signal erhalten. Bei einer bestimmten Tumorart etwa könnte das eine winzige Verschiebung des Säuregehaltes im Gewebe sein: Die chemische Barriere in den Poren schnurrt zusammen wie eine Spirale und öffnet den Container. Vision? Ja, aber eine mit Realitätssinn.

Die Basis für seine Membranen und Kapseln sind Kunststoffbausteine, die der Chemiker an die Hülle eines Pflanzenvirus koppelt. Dieses Virus ist auf Augenbohnenpflanzen spezialisiert und dient dem Bayreuther zunächst einmal als Modellsystem. An die Hülle des Virus, das aus Eiweißbausteinen

„Soft Matter“ ist das zentrale Thema, das die Forscher auch im Treppenhaus umgibt: Diplomchemikerin Kerstin Schindler, Diplomphysiker Heiko Schobberth, Petra Zippelius, Diplomchemikerin Anne Horn, Dr. Li-Tang Yan, Dr. Sujit Kumar Gosh und Diplomchemiker Gonther Jutz (von links) bilden das Team um Professor Dr. Alexander Böker (vorn).





Nur 80 Nanometer „dick“ sind die Membrane (oben), die im Bayreuther Labor hergestellt werden – das entspricht etwa dem Zehntausendstel eines Haares. Die Fläschchen (unten) enthalten die Protein-Polymer-Partikellösungen, die auf Siliziumplättchen aufgetragen werden, um die hauchdünnen Membranfilme erzeugen zu können; später werden diese dann von den Plättchen abgelöst.

besteht, koppelt er Kunststoffbausteine, die er mit ultraviolettem Licht zu einer hauchfeinen Plastikfolie verknüpft. Dann löst er die biologische Virenhülle auf, und fertig sind Löcher, die exakt so groß sind wie das Virus. Da die Kopplungsstellen zwischen Eiweiß und Kunststoff immer noch in die Poren ragen, kann der Chemiker dort neue Funktionen einbauen – wie etwa seine schaltbaren Wirkstofftore.

Bei der Umsetzung seiner Ideen baut Alexander Böker auf sein Team. Den Kittel trägt er nur noch selten, und auch diese Membran in der Petrischale hat einer seiner Mitarbeiter hergestellt. Er kommt kaum noch selbst zum Forschen – und bedauert das. Meist sitzt er im Büro, schreibt Anträge, Berichte und Publikationen. Dies alles ist notwendig, will er seine Forschungsmittel weiter aufstocken. „Gerade wenn es um den Umgang mit Fördermitteln geht, fällt mir der große Unterschied zwischen dem Instrument Lichtenberg-Professur und anderen Leistungen auf“, sagt der Chemiker. „Die Stiftung hat mich anfangs auf Herz und Nieren geprüft, nun setzt sie Vertrauen in meine Arbeit. Ich muss nicht jede Entscheidung rechtfertigen und habe deutlich mehr Zeit für meine Forschung und die meines wissenschaftlichen Nachwuchses – und so sollte es doch eigentlich in der Wissenschaft sein, oder?“ Mit den Mitteln aus der Lichtenberg-Professur kann er seine jungen Kolleginnen und Kollegen – die teilweise nur wenig jünger sind als er – auf Kongresse schicken, bei seinen internationalen Kooperationspartnern lernen lassen und sie auf diese Weise fundiert in die Wissenschaftsszene einführen. „Es ist ein Unterschied, ob man viel über einen renommierten Kollegen gelesen hat oder die Chance hatte, ihn kennenzulernen“, spricht er aus Erfahrung. „Diese Chance möchte ich meinen Leuten bieten.“

Und bei dem Thema Kollegen blitzt bei Alexander Böker wieder das amüsierte Hintergrundlachen auf. „Lichtenberg-Professuren waren anfangs so ungewöhnlich, dass ich ganz zu Beginn meiner Förderung bei Kongressen – besonders von älteren Wissenschaftlern – im Gespräch manchmal nicht für voll genommen wurde und regelrecht abblitzte“, erzählt er. Doch das habe sich schnell geändert. „Die Kollegen in Bayreuth hingegen haben mich von Beginn an nach Kräften unterstützt und tun das immer noch.“

Eine Erfahrung, die der Physiker Jascha Repp teilt: „Hier in Regensburg wurde ich mit meiner Lichtenberg-Professur mit offenen Armen empfangen. Das Kollegium sieht darin eine gewichtige Stütze des Forschungsschwerpunktes.“ Auch Jascha Repp forscht im Nano-Maßstab, allerdings in einem vollkommen anderen Bereich als sein Bayreuther Kollege. Er arbeitet an der Schnittstelle von Physik, Chemie und Elektronik. „Wobei die Elektronik, die wir hier betreiben, meilenweit von einem konventionellen Schaltkreis entfernt ist“, betont er. Jascha Repp baut Schalter aus organischen Farbstoffmolekülen. Diese Moleküle dampft er auf eine Schicht, die elektrischen Strom nur sehr schwach leitet. Sie liegen einzeln verstreut auf diesem Träger, und das Besondere an diesen kreuzförmigen Molekülen ist, dass sie einerseits vollkommen flach auf



Die Farbstoffmoleküle, die als molekulare Schalter fungieren, werden zunächst in geringen Mengen als Pulver auf einen Verdampfer aufgebracht (Bild oben). Von dort aus werden sie später im Vakuum auf die Oberfläche im Rastertunnel-Mikroskop aufgedampft. Das Rastertunnel-Mikroskop seinerseits wird durch flüssigen Stickstoff und flüssiges Helium stets extrem kalt gehalten. Im Bild unten füllt Professor Dr. Jascha Repp gerade den Stickstofftank.

dem Untergrund liegen, andererseits in ihrer Mitte eine freie Fläche haben, in der sich zwei bewegliche Atome befinden. Diese flexiblen Wasserstoffatome kann Jascha Repp durch leichte Stromstöße hin und her klappen – und zwar so, dass der Rest des Moleküls sich nicht bewegt.

„Dieses Molekül ist ein Schalter, weil sich der Stromfluss durch das Molekül ändert, wenn die Wasserstoffatome umklappen“, erklärt er. Für elektronische Anwendungen ist ein einzelner Schalter freilich nicht zu gebrauchen. Erst wenn es gelingt, sie zu ganzen Schaltungen zu verdrahten, lassen sich Informationen mit den Molekülen transportieren. Entsprechend gelang ihm und seinen Kollegen vom IBM-Forschungslabor in Zürich der Durchbruch in dem Moment, als sie drei solcher Moleküle aneinander schieben konnten – „der erste Schritt zu komplexeren Schaltungen mit einzelnen Molekülen“, betont Jascha Repp. Eine Leistung, die kürzlich zu einer Veröffentlichung in dem renommierten Wissenschaftsmagazin *Science* geführt hat.

Solche Schalter aus einzelnen Molekülen baut Jascha Repp natürlich nicht auf einem Labortisch. Das gesamte Labor mutet an wie eine Mischung aus Sciencefiction-Film-Kulisse und U-Boot. Polierter Edelstahl ist das vorherrschende Material in dem Kellerraum des Regensburger Instituts für Experimentelle und Angewandte Physik. Dicke Schrauben und Flansche halten die etwa zwei Quadratmeter große Stahlkammer zusammen, und nur ein paar Fenster gewähren den Forschern einen Blick in das Innere. „In dieser Kammer müssen wir alle Arbeiten durchführen“, erzählt Jascha Repp, „und zwar ohne selbst hineinzugehen und ohne unsere Hände benutzen zu können.“ Mit kleinen Metallgreifern, die er von außen bedient, dampft er die Farbstoffmoleküle auf Isolatoren auf, um sie im Zentrum dieser leeren, kalten Stahlkammer mit einer feinen Nadel zu stimulieren und zu bewegen. In der Mitte liegt das eigentliche Rastertunnel-Mikroskop. Es ist gerade einmal so groß wie eine Faust und erlaubt dem Regensburger den Blick auf die einzelnen Atome seiner Moleküle. Der gesamte Raum, in dem Jascha Repp mit seinen Greifern arbeitet, ist leer. Buchstäblich – denn er arbeitet unter Ultrahochvakuum. Und extrem kalt ist es außerdem. Seine speziellen Schaltungen funktionieren nur bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt, also bei etwa minus 270 Grad Celsius. Die Nadel des Rastertunnel-Mikroskops bewegt sich unendlich langsam über die Probe und tastet Atom für Atom auf der Oberfläche ab.

Die Arbeit ist nichts für Ungeduldige. Jascha Repp aber ist geduldig. Sehr geduldig. Das Arbeiten mit Greifern in einer Ultrahochvakuumkammer sei gar nicht so schlimm, meint er; innerhalb eines halben Tages könne er eine Probe damit präparieren. Und auch wenn sein Gerät, das er in Teilen eigenhändig gebaut hat, mal nicht funktioniert, verlässt ihn die Ruhe nicht. Die braucht er dann wohl auch, denn es dauert allein eine halbe Woche, bis er eine defekte Lötstelle überhaupt in Augenschein nehmen kann. Leere mit Luft zu füllen und von minus 270 Grad Celsius auf Zimmertemperatur aufzuheizen: Das funktioniert nicht in ein paar Minuten. „Viel schlimmer ist, dass

wir hinterher die ganze Stahlkammer in einen riesigen Ofen stecken müssen, um das an den Wänden kondensierte Wasser wieder herauszubekommen.“ Es klingt Freude mit ebenso wie eine Spur berechtigter Stolz, wenn er sich an die vielen Stunden Löten, Schrauben, Fräsen, Drehen oder Kleben erinnert, in denen er „seinen“ Kasten aufgebaut, gewartet und repariert hat: „Das hat schon etwas von Basteln für erwachsene Kinder“, schmunzelt er.

Dass dieser Aufwand sich lohnt, beweist sein wissenschaftlicher Erfolg. Solche Schalter aus großen organischen Farbstoffmolekülen könnten langfristig die Elektronik in eine neue Dimension befördern. Nur etwa ein Hundertstel des Raumes, den ein moderner Silizium-Schalter einnimmt, würden die Molekülschalter benötigen. Würden, wenn ... „Wir betreiben hier Grundlagenforschung unter sehr extremen Bedingungen“, betont Jascha Repp. In der Tat: Einzelnen Molekülen mit der Nadel eines Rastertunnel-Mikroskops leichte Stromstöße zu versetzen, um Wasserstoffatome zu klappen, oder sie durch kräftigere Stromstöße aneinander zu legen, damit sie einfache Schalter bauen – das klingt bei allem bisherigen Erfolg schon so, als würde noch etwas Zeit vergehen, bis am Ende etwa ein leistungsfähiger Computer vorzeigbar ist. Aber nichts geht ohne erste Schritte. Und die wurden für ihn durch die Lichtenberg-Professur möglich; ausgestattet mit immerhin rund 1,4 Millionen Euro. Für beide, Jascha Repp wie Alexander Böker, war es ein Schlüsselerfolg, sich im Kreis der Wettbewerber um solch eine Professur durchgesetzt zu haben. Das Tor zur großen Wissenschaft stünde ihnen jetzt offen, betonen beide denn auch unisono.

*Jo Schilling*



Künftig stehen dem Regensburger Team um Jascha Repp (vorn) eine neue Vakuumkammer und ein neues Rastertunnel-Mikroskop bei ultratiefen Temperaturen zur Verfügung. In der „Baugrube“ haben sich versammelt (von links): die beiden Diplomphysiker Mathias Neu und Tobias Sonnleitner sowie Andreas Pöllmann, Hans-Michael Solowan, Maurice Ziola und Christof Uhlmann.