

Einzelne Atome sehen und bewegen

Materialforschung. Mit High-tech-Geräten lassen sich kleinste Strukturen und sogar chemische Reaktionen sichtbar machen.

Die Idee, dass die Materie aus einzelnen Atomen aufgebaut ist, steht ganz am Anfang der Naturwissenschaft: „Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe, nur scheinbar ist es süß oder bitter; in Wirklichkeit gibt es nur Atome und leeren Raum“, formulierte im fünften Jahrhundert v. Chr. der griechische Philosoph Demokrit, der die Idee von seinem Lehrer Leukippos übernommen hatte. Wie man seit gut 100 Jahren weiß, ist der Name „Atom“ eigentlich falsch gewählt – das altgriechische Wort *átomos* bedeutet ja „unteilbar“. Heute ist klar, dass Atome aus noch kleineren Teilchen bestehen: Um einen Atomkern aus Protonen und Neutronen (die ihrerseits aus noch fundamentalen Teilchen zusammengesetzt sind) schwirren Elektronen, die einem Atom erst seine effektive Größe und Eigenschaften verleihen.

Die Existenz von Atomen war lange Zeit höchst umstritten – denn mit ihrer Größe von weniger als einem Nanometer (millionstel Millimeter) kann man sie nicht sehen. Oder besser gesagt: Man konnte sie die längste Zeit nicht sehen. Denn so unglaublich es auch klingen mag: Heute ist man in der Lage, einzelne Atome sichtbar zu machen. Und mehr noch: Man kann einzelne Atome sogar gezielt bewegen – und dabei auch noch zuschauen.

Die Faszination, die von diesen Möglichkeiten der modernen Naturwissenschaft ausgeht, wird sofort spürbar, wenn man mit Ulrike Diebold, Professorin für Oberflächenphysik am Institut für Angewandte Physik der TU Wien, spricht. Etwa wenn sie davon erzählt, wie man nicht nur einzelne Atome, die in einer Kristall-

struktur angeordnet sind, sichtbar machen kann, sondern auch chemische Reaktionen wie die Zersetzung eines Wassermoleküls direkt beobachten kann.

Das wird möglich durch eine trickreiche Erfindung namens „Rastertunnelmikroskopie“, international abgekürzt als STM. Dabei wird ein Metalldraht, der sich zu einer extrem feinen Spitze verjüngt, ganz knapp (einen halben Nanometer) und hochpräzise über eine Oberfläche geführt. An die Spitze wird ein Strom angelegt, so kann gemessen werden, wie groß der Abstand zur Oberfläche ist. „Unter idealen Bedingungen können individuelle Atome auf einer Oberfläche abgebildet werden“, so Diebold. Um ideale Bedingungen zu erzeugen, werden die Beobachtungen z. B. in einem Ultrahochvakuum durchgeführt, da selbst wenige Luftteilchen die Abbildung massiv stören würden. Bei manchen Experimenten wird die Probe auch extrem stark abgekühlt, um die Schwingungen der Atome zu dämpfen.

Damit aber nicht genug: Wenn man die Spitze noch näher zum Material bringt, kann man das System stören. Man kann dann quasi ein einzelnes Atom nehmen und an eine gewünschte Stelle bugsieren. Noch tiefere Einblicke in die atomare Struktur ermöglichen Rasterkraftmikroskope (AFM), die nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten. Mit ihnen kann man sogar chemische Reaktionen sichtbar machen und bis ins Detail untersuchen. Diebold treibt in ihrem Wittgenstein-Preis-Projekt „Surface Science“ die Entwicklung noch besserer Methoden stetig voran.

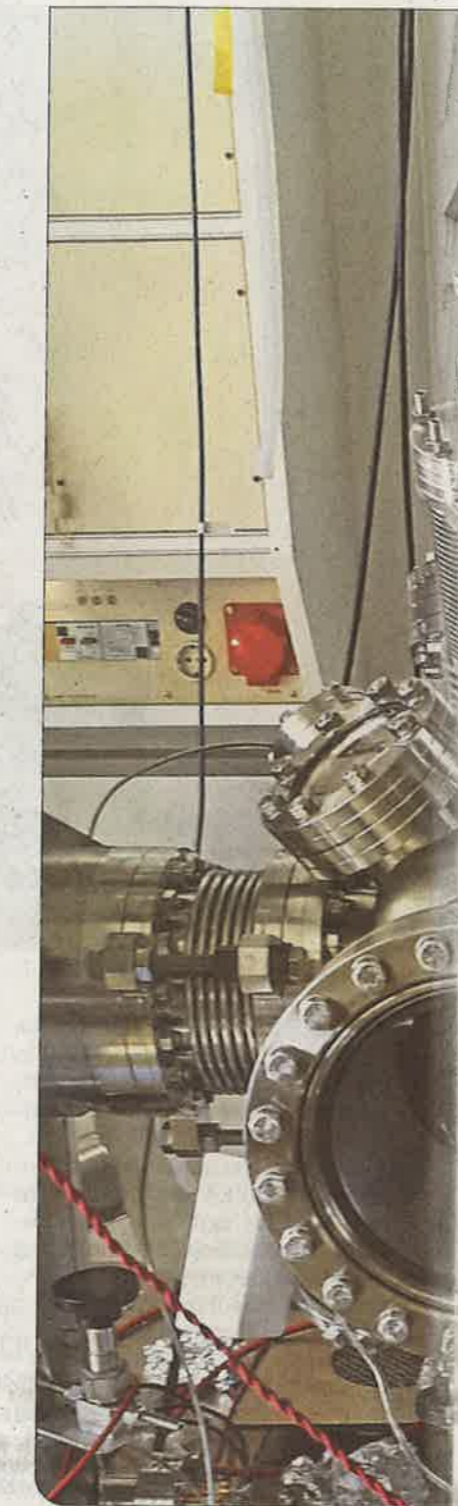
Um mit solchen hochspezialisierten wissenschaftlichen Geräten

im Nanometerbereich arbeiten zu können, ist extrem viel Know-how notwendig. Bisweilen müssen auch banal erscheinende Hürden übersprungen werden. So werden z. B. die Mikroskope in Diebolds Labor im fünften Stock des Freihauses der TU Wien von den Straßenbahnen, die davor vorbeirumpeln, regelmäßig in Schwingungen versetzt. Um sich dadurch die Messgenauigkeit nicht ruinieren zu lassen, haben die Forscherinnen und Forscher kürzlich ein System entwickelt, bei dem die Geräte an Seilen aufgehängt werden – eine Methode, die man sogar zum Patent angemeldet hat.

Erforschung von Oberflächen

Diebold nutzt die Geräte für die Erforschung von Vorgängen auf Oberflächen von Materialien: Praktisch alle Wechselwirkungen mit der umgebenden Welt spielen sich in den obersten paar Atomlagen eines Materials ab, erklärt sie: Dort reagiert eine Substanz z. B. mit Luftsauerstoff – Eisen rostet außen –, an der Oberfläche von Katalysatoren finden die gewünschten chemischen Reaktionen statt, und auch bei biologischen Materialien laufen dort viele wesentliche biochemischen Vorgänge ab.

Das Spezialgebiet der Oberflächenphysikerin sind oxidierte Materialien, bei denen sie schon vor Jahren als erste zeigen konnte, dass man mittels Rastertunnelmikroskopie Materialdefekte auf einzelatomarer Ebene sichtbar machen kann – und dass chemische Reaktionen, die durch solche Fehler ausgelöst werden, Molekül für Molekül beobachtbar sind. Diese Forschung ist vor allem Grundlagenforschung. Sie bringt völlig neue Phänomene ans Licht, die bisher nicht beobachtet werden konnten. So zeigt sich beispielsweise, wie sich Atomgitter selbstständig zu neuen Nanostrukturen organisieren, wenn die Oberfläche gestört wird – etwa wenn ein Kristall zerbrochen wird. Kürzlich sind Forscherinnen und Forscher aus Diebolds Arbeitsgruppe auf eine Labyrinth-artige Struktur gestoßen, deren Wände exakt fünf Atome dick waren. „Eine sehr schöne

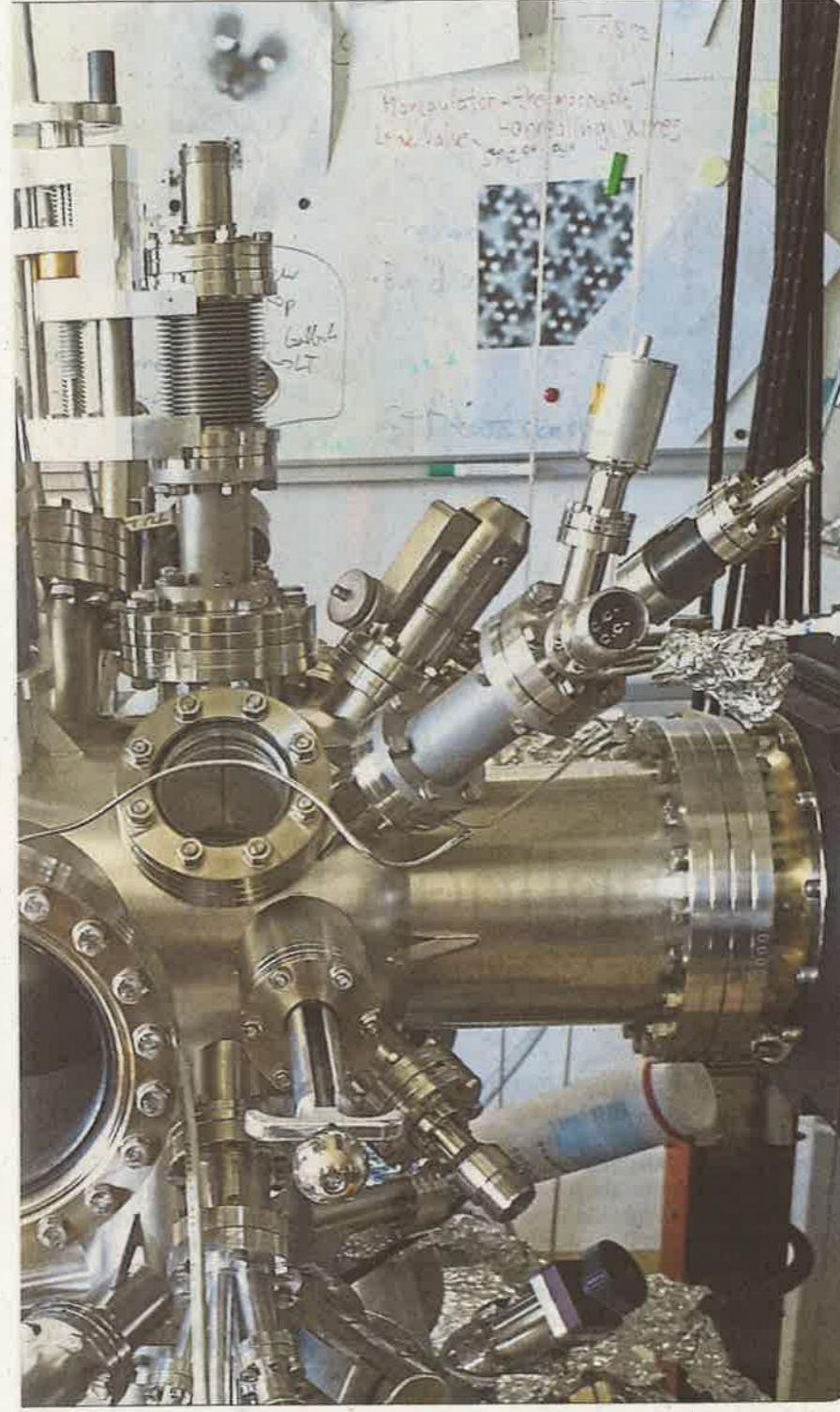


Diese Apparatur sieht zwar auf den erst

was passiert“, erläutert Diebold. „Das gleiche machen die Kollegen im Computer: Sie berechnen, was sich dabei abspielt.“ Im Endeffekt handeln sich die beiden Seiten gegenseitig immer weiter, bis die beobachteten Phänomene durch die Modelle so gut erklärt werden können, dass Prognosen über bisher unbekannte Materialien möglich werden. „Wir versuchen das, im Experiment nachzubauen, und schauen, ob es wirklich funktioniert.“

Anwendung ist stets nahe

Trotz der Grundlagenorientierung dieser Forschungsarbeit ist es nie



Blick nicht aus wie ein Mikroskop – sie kann aber sogar Atome sichtbar machen.

[Kugler]

gen, wie man die Atome zusammensetzen müsste, um dieses ideale Material zu realisieren, erklärt Diebold. „Auf diese Art will man vom Trial and Error, der in der Vergangenheit in der Materialforschung dominierte, ein bisschen wegkommen in Richtung einer rationaleren Materialwissenschaft“, so Diebold. Ihre Forschungsgruppe

ist in zahlreiche Kooperationen mit vielen verschiedenen Fachbereichen eingebunden.

So werden im Spezialforschungsbereich „Funktionelle Oxidoberflächen und Oxidgrenzflächen“ (FOXSI) unter der Leitung von Günther Rupprechter (Institut für Materialchemie der TU Wien) etwa bessere Materialien für Fest-

körper-Brennstoffzellen (SOFC) gesucht – diesen Energiewandlern wird eine große Zukunft bei der künftigen Energieversorgung zugesprochen. Dominik Eder ist an ebendiesem Institut auf der Suche nach besseren Fotokatalysatoren, die Wasser unter Lichteinfluss in Sauerstoff und Wasserstoff spalten – was eine sehr umweltfreundliche Art der Energiegewinnung wäre, die durch metallische Nanoteilchen möglich werden könnte.

Peter Weinberger ist am Institut für Angewandte Synthesechemie der TU Wien auf der Suche nach „schaltbaren Materialien“ – konkret: Eisenverbindungen, die unter dem Einfluss bestimmter Stickstoffverbindungen bei Raumtemperatur zwischen zwei verschiedenen Spin-Zuständen umschalten können und dadurch ihre magnetischen Eigenschaften verändern. Phänomene bei der Korrosion von Materialien hat Markus Valtiner, der im Vorjahr als Professor ans Institut für Angewandte Physik der TU Wien berufen wurde, im Auge: Er untersucht die Vorgänge an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeiten und festen oder weichen Oberflächen, wo unterschiedliche Moleküle miteinander reagieren. An neuen hochauflösenden Mikroskopietechniken zum Sichtbarmachen von molekularen Vorgängen sind auch die Biowissenschaften sehr interessiert. So erforscht z. B. der Biophysiker Gerhard Schütz die genaue Anordnung von Proteinen an Immunzellen, wenn diese körperfremde Proteine entdecken.

Rennen mit Molekülen

Ein faszinierendes Forschungsgebiet sind auch atomare und molekulare Motoren, also einzelne Moleküle, die dazu gebracht werden können, sich zu bewegen. Die Fortschritte in diesem Bereich – der 2016 mit einem Nobelpreis bedacht wurde – wurden im Vorjahr auch bei einem denkwürdigen Wettbewerb demonstriert: Bei der ersten Nanocar-Weltmeisterschaft traten sieben Forschergruppen an, um ein organisches Molekül auf einer Silberunterlage 300 Nanometer weit zu bewegen. Einen überlegenen Sieg erringen konnte eine Forschergruppe um Leonhard Grill vom Institut für Physikalische Chemie der Universität Graz, die sich für diese Art der „Nanomanipulation“ eines modernen Rastertunnelmikroskops bediente.

Wie trickreich die Natur Oberflächen ge

Vorbild Natur. Durch spezielle Strukturen an Oberflächen werden Pflanzen wass

Chemie im Computer

Simulation. Eine Wiener Gruppe zählt bei der