

# Das Rastertunnelmikroskop

Die Nanostrukturforschung ist die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Das Gebiet der Nanowissenschaften beinhaltet interessante Forschungsgebiete, die einen Teil ihrer Faszination daraus beziehen, dass hier drei über lange Zeiten getrennte Disziplinen – die Physik, die Chemie und die Biologie – eng zusammenarbeiten. Anwendungspotenziale liegen auf diesem Feld im Bereich der modernen Mikroelektronik und der Speichertechnologie, aber auch bei Untersuchung und Entwicklung biohybrider oder biomimetischer Systeme, sowie in vielen Gebieten der Pharmazie und der Medizin. Ebenso spielt die Nanotechnologie heute in der ingenieurwissenschaftlichen Anwendung, beispielsweise bei neuen Beschichtungsverfahren, eine wichtige Rolle.

Um Proben auf Nanoskala zu untersuchen, gibt es eine Vielzahl von Verfahren: Als erstes ist das Rasterelektronenmikroskop zu nennen, das die Oberfläche Stück für Stück mit einem scharf gebündelten Elektronenstrahl abrastert. Auch das Transmissionselektronenmikroskop, das die Oberfläche mit einem Strahl aus Elektronen, der eine kleinere Wellenlänge als Licht hat, durchleuchtet, kann durchaus atomare Gebilde abbilden. Allerdings muss die Probe bis auf einige Atomdurchmesser ausgewalzt werden, damit dies funktioniert. Keines dieser Verfahren ist jedoch so genau, zerstörungssicher und umgebungsunabhängig, wie das Rastertunnelmikroskop, RTM (engl.: scanning tunneling microscope, STM). Hinzu kommt, dass es im Gegensatz zu anderen Geräten an Luft, im Vakuum und sogar in Flüssigkeiten arbeitet. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Rastertunnelmikroskope sehr klein sein können, in unserem Fall nicht viel größer als eine Streichholzschachtel.



*Bild 1: Versuchsaufbau Easy-STM*

## **Entwicklung und Funktionsweise**

Das Rastertunnelmikroskop ist von den Physikern Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1981 entwickelt worden. 1986 wurde diese geniale Erfindung mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Das Prinzip ist einfach: Mit einer sehr feinen Spitze wird die Oberfläche der Probe abgetastet. Am Ende dieser Nadel sitzt oft nur ein einziges Atom, wodurch Aufnahmen mit atomarer Auflösung ermöglicht werden. Die Nadel befindet sich sehr nah über der Oberfläche, so dass es beim Anlegen einer kleinen Spannung zwischen Spitze und Probe zum quantenmechanischen Transport der Elektronen durch die als Isolator wirkende Luft kommt. Dieser Effekt wird auch Tunneleffekt genannt. Wenn die Elektronen die Barriere durchtunneln, dann fließt der sogenannte Tunnelstrom, der exponentiell abhängig vom Abstand zwischen Spitze und Probe ist.

Um eine Aufnahme zu erstellen wird die Spitze sehr präzise in der X- und Y-Achse über die Probe bewegt. Dies geschieht mit Hilfe von piezoelektrischen Kristallen, die sich bei Anlegen einer Spannung minimal ausdehnen. Dabei wird der Tunnelstrom gemessen und über ein Regelwerk geleitet, das den Piezo ansteuert. Der Piezo wiederum kontrolliert den Abstand zwischen Spitze und Probe. Mit Hilfe dieser Apparatur kann der Tunnelstrom konstant gehalten werden. Da bei Vertiefungen in der Probe eine hohe Spannung und bei Erhebungen entsprechend eine kleine Spannung gemessen wird, kann man anhand dieser Daten am Computer ein 3D-Abbild der Oberfläche erstellen. Hierbei werden die Höhendifferenzen am Bildschirm mit

unterschiedlichen Helligkeiten dargestellt, Vertiefungen dunkel und Erhebungen hell.

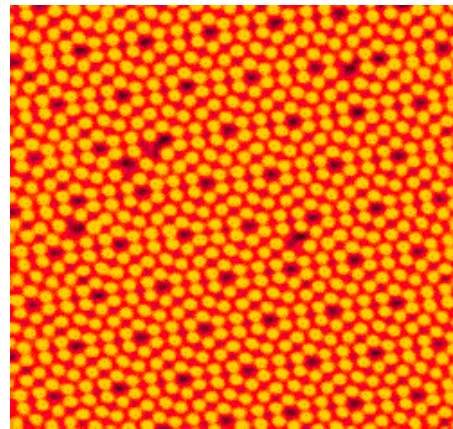
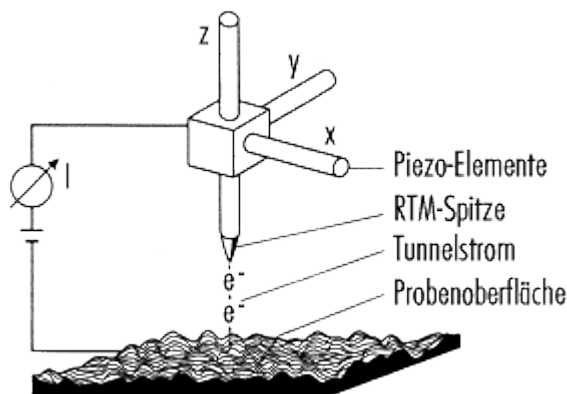


Bild 2 : Schematischer Aufbau

Bild 3 : Atome einer Siliziumoberfläche

In den letzten Jahren hat sich das Rastertunnelmikroskop zu einem bewährten Analysegerät in der Oberflächenphysik, Materialforschung und der Chemie entwickelt, so können heute Ingenieure damit Einblick in die Miniaturisierung von elektronischen Komponenten erhalten, Biologen die Grundbausteine des Lebens unter nahezu natürlichen Bedingungen untersuchen und Chemiker zum Beispiel ein besseres Verständnis von Batterien gewinnen, indem sie chemische Oberflächenreaktionen in einer elektrolytischen Lösung auf molekularer Ebene direkt beobachten.

Zusätzlich haben sich aus dem Prinzip der Rastertunnelmikroskopie weitere verschiedene Rastersondenverfahren entwickelt.

Dazu gehört auch das Rasterkraftmikroskop, welches die anziehenden und abstoßenden Kräfte zwischen Spitze und Probe auswertet und mit dessen Hilfe Molekularbiologen sogar DNA-Moleküle direkt untersuchen können.

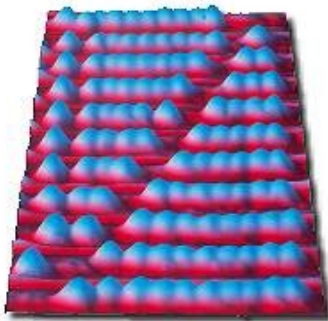
### Anwendungen

Das Rastertunnelmikroskop bietet aber noch mehr Möglichkeiten. Einzelne Atome können wie mit einer "Pinzette" gezielt auf einer Oberfläche angeordnet werden. 1989 gelang dies im IBM Forschungszentrum Almaden in Kalifornien zum ersten Mal. Bei Temperaturen nahe des absoluten Nullpunktes ( $\sim 273^\circ\text{C}$ ) "schrieben" Wissenschaftler mit 35 Xenon-Atomen den Namen "IBM" auf eine Oberfläche



*Bild 4 :  
Das RTM als Werkzeug in  
kleinsten Dimensionen:  
Mit Hilfe der Mikroskop-  
Spritze gelang es, den  
Schriftzug "IBM" aus  
einzelnen Xenon-Atomen  
zu "schreiben".*

1996 schufen Wissenschaftler des IBM Forschungslabors Zürich ein "Rechenbrett", dessen Zählsteine aus einzelnen Molekülen mit einem Durchmesser von weniger als einem millionstel Millimeter (Nanometer) bestehen. Der "Finger" zum Verschieben der "Zählsteine" ist die äußerst feine Spitze eines Rastertunnelmikroskops. Den Wissenschaftlern gelang es, stabile Reihen von zehn Molekülen zu bilden, und zwar auf einer Kupferoberfläche entlang von Stufen, die nur gerade ein Atom hoch sind. Diese Stufen dienen als "Schienen", ähnlich wie bei den traditionellen Rechenbrettern, bei denen die Zählsteine in Vertiefungen anstelle von später verwendeten Stäbchen aufgereiht sind. Die Rastertunnelmikroskop-Spitze kann präzise kontrolliert an einzelne Moleküle angesetzt werden, diese verschieben und so von null bis zehn "zählen". Die für das Experiment verwendeten "Zählsteine" sind die erstaunlichen, fußballförmigen Moleküle aus 60 Kohlenstoff-Atomen ( $C_{60}$ ), deren Entdecker den Chemie-Nobelpreis 1996 erhielten. Diese Moleküle heißen Fullerene.



*Bild 5 : Der kleinste  
Abakus  
RTM-Bildsequenz von  
zehn Molekülen, die  
entlang einer atomaren  
Stufe auf kleiner  
Kupferoberfläche  
verschoben werden  
und so die Zahlen 0 bis  
10 darstellen,  
vergleich-bar mit der  
Anwendung eines  
Zählrahmens.*

## **Unser Versuch**

In unserem Versuch betrachten wir sowohl die Oberfläche von Graphit, als auch die von Gold. Dazu wird jeweils die gereinigte Probe vorsichtig mit einer Pinzette auf den Probenhalter gesetzt. Dann warten wir, bis der

„Piezomotor“ die Probe an die Messnadel herangefahren hat und diese einen kleinen Tunnelstrom misst.

Nun können wir anfangen ein für uns interessantes Gebiet der Probe heranzuzoomen.

Bei Graphit werden wir die atomaren Strukturen wahrscheinlich bei einem Bildausschnitt von einem Nanometer erkennen.

Bei Gold ist es aufgrund seiner rauen Oberfläche kaum möglich einzelne Atome zu betrachten, aber auch hier lassen sich mit etwas Geduld schöne „Schnappschüsse“ machen.



*Bild 6 : Darstellung atomarer Strukturen von Graphit mit dem Easy-STM*

**weitere Quellen zum Thema:**

<http://de.geocities.com/rastertunnelmikroskop2002/deutsch>

[http://www.uni-](http://www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/lehre/Praktikumsanleitung%20STM-AFM.pdf)

[saarland.de/fak7/hartmann/lehre/Praktikumsanleitung%20STM-AFM.pdf](http://www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/lehre/Praktikumsanleitung%20STM-AFM.pdf)