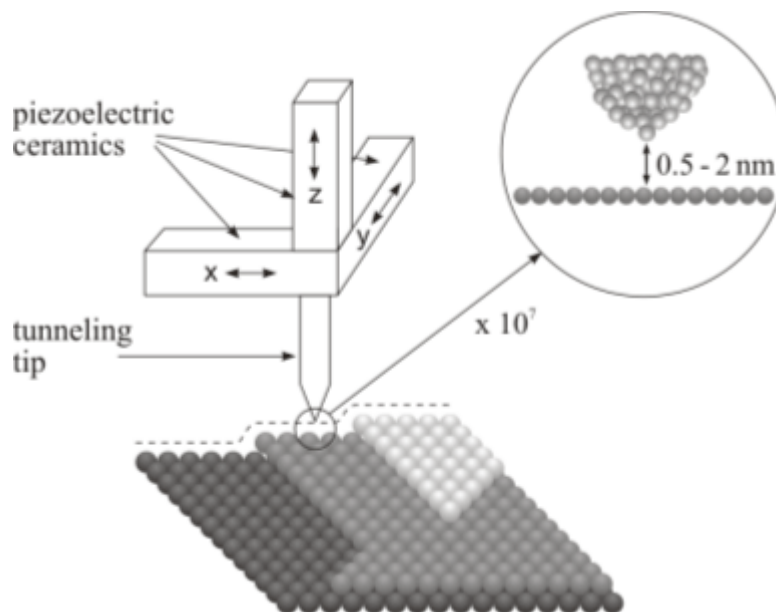


Atome sehen, mit Atomen spielen: Das Rastertunnelmikroskop in der Elektrochemie

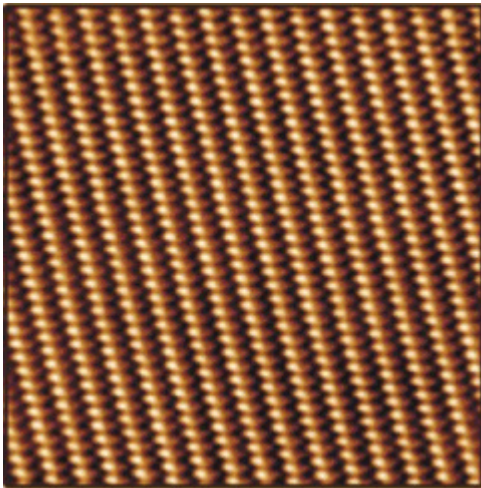
Oberflächen von festen Stoffen, vor allem von Metallen, spielen in vielen Bereichen der Wissenschaft, aber auch des täglichen Lebens eine wichtige Rolle. Ein schneller Blick auf die eigene Umgebung zeigt die Vielfalt metallischer Gegenstände und deren Oberflächen: von rostüberzogen bis chromglänzend. Es war ein uralter Wunschtraum der Wissenschaftler, Oberflächen mit höchster räumlicher Auflösung sehen zu können – vielleicht sogar einzelne Atome im realen Raum sichtbar zu machen. Der Bau immer leistungsstärkerer Mikroskope (z. B. die Entwicklung vom Licht- zum Elektronenmikroskop) führte zu einer erheblichen Steigerung des Auflösungsvermögens. Allein – der Blick auf die Atome blieb den Forschern verwehrt. Erst die geniale Idee zweier Wissenschaftler im IBM-Forschungslabor bei Zürich, Gerd Binnig und Heinrich Rohrer (Nobelpreis 1986), für die Abbildung von Oberflächen den so genannten Tunneleffekt auszunutzen, brachte den Durchbruch: Oberflächenatome konnten erstmals beobachtet werden. Das Prinzip des **Rastertunnelmikroskops** (engl. scanning tunneling microscope, kurz STM) ist in **Abb. 1** skizziert.



Eine feine Metallspitze (üblicherweise aus Wolfram- oder Pt/Ir- draht hergestellt) wird mit Hilfe von Piezokeramiken so nahe an die zu untersuchende Oberfläche gebracht, bis Elektronen von einer Seite zur anderen „tunneln“ können (d. h. es kann ein elektrischer Strom fließen ohne direkten Kontakt der beiden Werkstücke). Indem man nun mit der Metallspitze (sog. Tunnelspitze) in einer konstanten Höhe die Oberfläche zeilenweise abrastert und den dabei fließenden Tunnelstrom aufzeichnet, kann man mit Hilfe eines Computers ein Fehlfarbenbild erstellen, das die Topographie der Oberfläche im Detail, bzw. atomar aufgelöst zeigt. Ein Beispiel dafür ist in **Abb. 2** gezeigt:

Abb. 2

Es ist eine sog. Goldeinkristalloberfläche, in der die Atome sehr gleichmäßig und mit dichtester Kugelpackung angeordnet sind. Was man in dem Bild als helle Punkte sieht, sind jedoch nicht die Goldatome, sondern Sulfationen, die in einem regelmäßigen Muster auf der glatten Goldoberfläche angeordnet sind.



Man muß nämlich wissen, daß die hier dargestellten Meßergebnisse nicht Oberflächen an Luft oder in einer Vakuumkammer zeigen, sondern in einer elektrochemischen Zelle mit wäßriger schwefelsaurer Lösung aufgenommen wurden. Schließlich kommt diese Wochenschau aus einem [Institut für Elektrochemie](#). Man kann sich leicht vorstellen, daß rastertunnelmikroskopische Aufnahmen mit atomarer Auflösung unser Verständnis von der Struktur der Metalloberflächen und von chemischen Reaktionen an denselben enorm erweitert haben.

Die Väter des Rastertunnelmikroskops haben schon sehr frühzeitig erkannt, daß ihre Erfindung nicht nur zur Abbildung von Oberflächen in atomarem Maßstab geeignet ist, sondern auch die Möglichkeit beinhaltet, mit den Atomen „spielen“ zu können, d. h. diese nach Belieben auf der Oberfläche hin- und her zu schieben. Denn bei dieser extrem hohen Auflösung kommt die abbildende Metallspitze der Oberfläche so nahe, daß sie eine Kraftwirkung auf die abzubildenden Atome ausübt. Dies ist durchaus kritisch für die abbildende Funktion des STM, denn das Mikroskop als Meßinstrument sollte das Objekt natürlich nicht beeinflussen. Für das STM als Strukturierungsinstrument im Nanometermaßstab ist solch eine Wechselwirkung dagegen höchst willkommen. In **Abb. 3a** ist eine Möglichkeit zur Nanostrukturierung von Oberflächen (hier von Goldoberflächen) mit einem STM gezeigt: Mit Hilfe der Metallspitze werden winzig kleine Metallcluster (d. h. Metallatomhäufchen) zielgenau auf Oberflächen gesetzt. **Abb. 3b** zeigt 12 solcher Kupfercluster auf einer Goldelektrode im Kreis angeordnet.

Animation

Abb. 3a

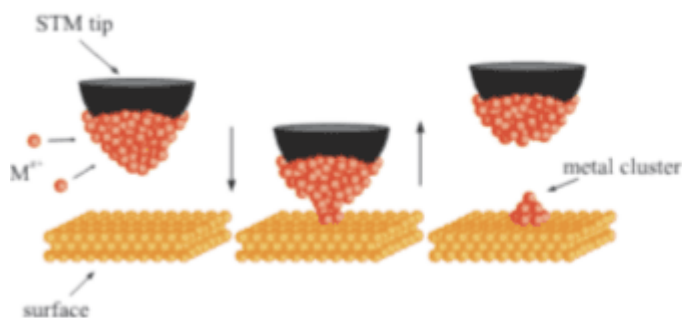
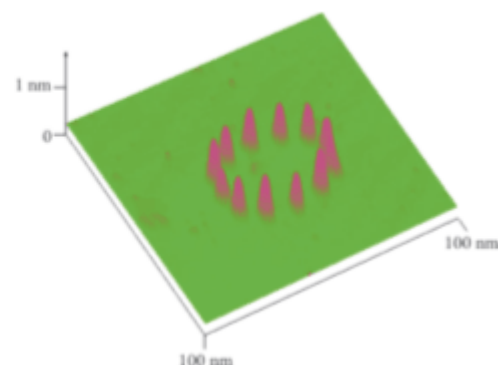


Abb. 3b



Die Cluster sind etwa 4 Atomlagen hoch und bestehen aus je ca. 100 Kupferatomen. Man kann sich vorstellen, daß die so erzeugte Informationsdichte von im Nanometermaßstab modifizierten Oberflächen die herkömmlicher Medien um viele Größenordnungen übertrifft. Allerdings stellt uns die Stabilität solcher Oberflächen, sowie die technische Realisierung der Informationsspeicherung heute noch vor unüberwindliche Probleme.

Abb. 4



Schriftzug aus 621 Kupferclustern auf Gold. Die Cluster wurden im Abstand von 10 Nanometern plziert. Die Schriftgröße beträgt etwa 45, bzw. 30 Nanometer.

Prof. Dr. D.M. Kolb
Universität Ulm
Abteilung Elektrochemie