

---

# Rastertunnelmikroskop

---

Friedrich Schüßler und Volker Karle

4. September 2014

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I</b>	<b>Versuchsprotokoll</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einführung in die Rastertunnelmikroskopie</b>	<b>1</b>
1.1	Historischer Abriss . . . . .	1
1.2	Heading on level 2 (subsection) . . . . .	4
1.2.1	Heading on level 3 (subsubsection) . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Lists</b>	<b>5</b>
2.1	Example of list (3*itemize) . . . . .	5
2.2	Example of list (enumerate) . . . . .	5

# TEIL I

## VERSUCHSPROTOKOLL

### 1 EINFÜHRUNG IN DIE RASTERTUNNELMIKROSKOPIE

Ein Rastertunnelmikroskop (engl. *scanning tunneling microscope*, **STM**) ist Messinstrument, um Oberflächen auf atomarer Ebene zu visualisieren. Gängige Auflösungen liegen bei 0.1 nm in der Ebene sowie 0.01 nm in der Tiefe. Mit dieser Auflösung ist es schon möglich, einzelne Atome aufzulösen bzw. zu differenzieren. Das Rastertunnelmikroskop kann nicht nur unter Vakuum, sondern auch mit Luft oder Flüssigkeiten verwendet werden.

#### 1.1 HISTORISCHER ABRISS

Die ursprüngliche Idee der Erfinder des Rastertunnelmikroskopes war es nicht, ein Mikroskop zu konstruieren, sondern Spektroskopie in einer Größenordnung von 100 Å durchzuführen [1]. Mit der ersten experimentellen Realisation [?] des Tunnelns mit einer positionierbaren Spitze tauchte das Konzept des Tunnelns in der Festkörperphysik auf, als versucht wurde, durch Vakuum bzw. durch eine Vakuumbarriere zu tunneln [3]. Erst dann wurde festgestellt, dass mit dieser Methode nicht nur Spektroskopie, sondern eine neue Art des Mikroskops entwickelt werden konnte. Diese waren zunächst aufgrund der Vibrationen nicht erfolgreich. Nun sind die Vorteile des Vakuumtunnelns aber evident: Zum einen handelt es sich um die konzeptuell am einfachsten herzustellende Barriere, zum anderen ist ein freier Zugang der Elektroden für die Untersuchung anderer physikalischer und chemischer Prozesse möglich. Die Fragen, die sich in diesem Zusammenhang ergaben und gelöst bzw. beantwortet werden mussten, waren:

1. Wie können die mechanischen Vibrationen, die die Spitze erschüttern und sich gegenseitig aufschaukeln, unterdrückt bzw. verringert werden?
2. Wie stark sind die (Anziehungs-)kräfte zwischen der Spitze und der Probe? Wie sollte die Form der Spitze aussehen und wie ist es möglich eine solche Form auf dieser Skala herzustellen?

1981 führten die Autoren G.Binnig, H.Rohrer, Ch.Gerber und E.Weibel in Zürich zum ersten Mal ein erfolgreiches Tunnelexperiment [3] mit einem justierbarem Vakuum Spalt durch. Ziel war hierbei, das Phänomen des Tunnelns so zu erforschen, um es in der Spektroskopie und andere Methoden einsetzen zu können. Offensichtlich war der schwierige Teil der, die Vibrationen, die vergangene Experimente fehlschlugen ließen, hinreichend zu unterdrücken, um somit das eigentliche Signal noch identifizieren zu können. Dies wurde in dem erwähnten Experiment durch eine Dämpfung des Tunnelbauteils erreicht, und zwar durch einen Schutz von akustischen Rauschen durch eine das Mikroskop umgebende Suspension innerhalb einer Vakuumkammer. Mithilfe von Levitation durch Supraleiter-induzierte Magneten sowie der Steuerung mit Piezoelementen erfolgt das Abrastern einer Probe.

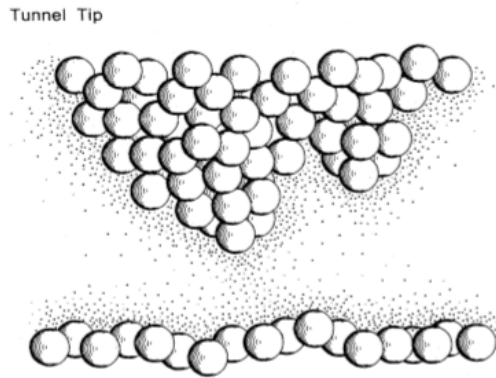


Abbildung 1.1: Schematische Abbildung aus [1] auf der der strukturelle Aufbau der Spitzen und der Probe zu sehen ist.

Der Trick liegt darin, die charakteristischen Frequenzen so zu wählen, dass die Eigenfrequenzen des Materials für Vibrationen weit darüber liegen. Dies ist möglich, indem die Größe des Bauteils sehr klein skaliert wird, somit können sich keine Vibrationen ausbilden. Für die erste Realisation eines Rastertunnelmikroskops wurde Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1986 der **Nobelpreis für Physik** verliehen. Die Frage nach der Form der Spitze ist komplizierter, da es nicht unbedingt möglich ist, die Spitze als Sphere mit einer bestimmten Krümmung und Radius zu beschreiben, da die Rauheit der Spitze die Existenz vieler kleiner Spitzen implizieren. Diese sogenannten *Minispitzen* reagieren sehr sensitiv auf die anliegende Tunnelstromstärke; die jeweils nächste bildet dann die Verbindung zur Probe (siehe Abbildung 1.1).

Die erste Anwendung, welche die Rastertunnelmikroskopie bekannt machte, war die Oberflächenrekonstruktion von Silizium(111) [?] (siehe Abbildung 1.2). Dabei handelte es sich um ein offenes Problem in der Festkörperphysik. Wie sich später durch die experimentelle Aufarbeitung zeigte, waren die theoretischen Vorhersagen nicht korrekt und mussten korrigiert werden, gerade auch deswegen erlangte die Rastertunnelmikroskopie ab 1985 große Bekanntheit.

Auf ihr baut die gesamte Rastersondenmikroskopie auf, welche in einigen Spielarten in der Zeit danach weiterentwickelt wurde. So war es mit dem *Rasterkraftmikroskop* und dem *optische Rasternahfeldmikroskop* möglich, sogar nichtleitende Proben zu untersuchen, da das Abrastern nicht auf einen geschlossenen Stromkreis basiert, sondern auf Kräften atomarer Ebene (Coulomb, Pauliprinzip). Somit bilden sie die Basis für viele Anwendungen in der Chemie und Biologie.

1993 gelang es M.F. Crommie, C.P. Lutz und D.M. Eigler [?] dann ein *Quantengehege* aufzubauen (engl. *Quantum Corral*). Somit konnten mithilfe des Rastertunnelmikroskops sogar Interferenzphänomene von Atomen sichtbar gemacht werden (siehe Abbildung 1.3).

[2] [5] [4]

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac

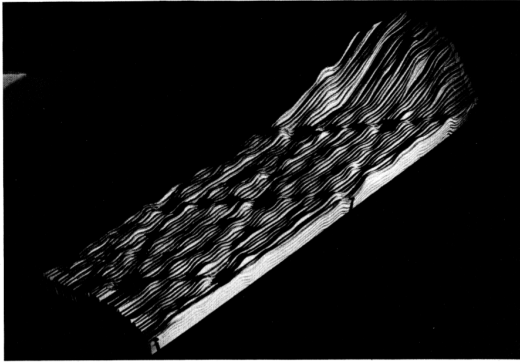


Abbildung 1.2: Erste Anwendung des Rastertunnelmikroskops [?]: Oberflächenrekonstruktion von Silizium(111) (siehe Millersche Indizes im Theorieteil), welches eine komplexe (7x7) Überstrukturzelle besitzt

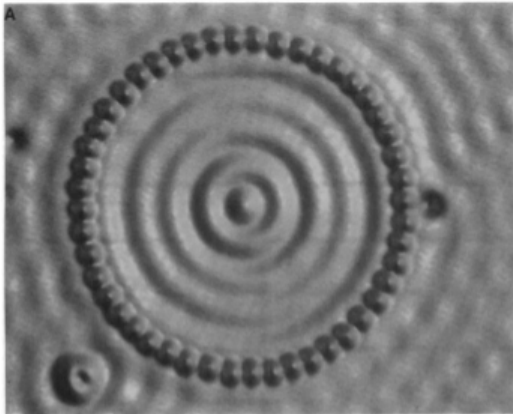


Abbildung 1.3: Die Abbildung zeigt die Visualisierung des Quantengeheges, welches 1993 von Crommie, Lutz und Eigler mithilfe des Rastertunnelmikroskops konstruiert werden konnte [?]. Speziell in dieser Abbildung ist eine 48-Eisen-atomige Ringkonstruktion zu sehen, welche auf Kupfer(111) aufgebaut wurde. Der Durchmesser des Rings beträgt 142.6Å.

## 1 Einführung in die Rastertunnelmikroskopie

orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

$$\begin{aligned}(x+y)^3 &= (x+y)^2(x+y) \\ &= (x^2 + 2xy + y^2)(x+y) \\ &= (x^3 + 2x^2y + xy^2) + (x^2y + 2xy^2 + y^3) \\ &= x^3 + 3x^2y + 3xy^2 + y^3\end{aligned}\tag{1.1}$$

Phasellus viverra nulla ut metus varius laoreet. Quisque rutrum. Aenean imperdiet. Etiam ultricies nisi vel augue. Curabitur ullamcorper ultricies



Abbildung 1.4: Easy Scan 2 STM: Rastertunnelmikroskop

### 1.2 HEADING ON LEVEL 2 (SUBSECTION)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}\tag{1.2}$$

Aenean commodo ligula eget dolor. Aenean massa. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec quam felis, ultricies nec, pellentesque eu, pretium quis, sem.

#### 1.2.1 HEADING ON LEVEL 3 (SUBSUBSECTION)

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec,

## 2 Lists

suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

HEADING ON LEVEL 4 (PARAGRAPH) Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

## 2 LISTS

### 2.1 EXAMPLE OF LIST (3\*ITEMIZE)

- First item in a list
  - First item in a list
    - \* First item in a list
    - \* Second item in a list
  - Second item in a list
- Second item in a list

### 2.2 EXAMPLE OF LIST (ENUMERATE)

1. First item in a list
2. Second item in a list
3. Third item in a list

## LITERATUR

- [1] Gerd Binnig and Heinrich Rohrer. Scanning tunneling microscopy—from birth to adolescence. *Reviews of Modern Physics*, 59(3):615–625, 1987.
- [2] Gerd Binnig, Heinrich Rohrer, Ch Gerber, and E Weibel. Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Physical review letters*, 49(1):57, 1982.
- [3] Gerd Binnig, Heinrich Rohrer, Ch Gerber, and Eddie Weibel. Tunneling through a controllable vacuum gap. *Applied Physics Letters*, 40(2):178–180, 1982.

## *Literatur*

- [4] C Julian Chen. *Introduction to scanning tunneling microscopy*, volume 227. Oxford University Press New York, 1993.
- [5] Charles Kittel. *Einführung in die Festkörperphysik*. Oldenbourg Verlag, 2013.