

Konstruktion eines einfachen Rastertunnelmikroskops zur Verwendung unter Umgebungsbedingungen

Lukas Höltkemeier, Jacqueline Horstmann
Physikalische Chemie I, Fakultät für Chemie, Universität Bielefeld

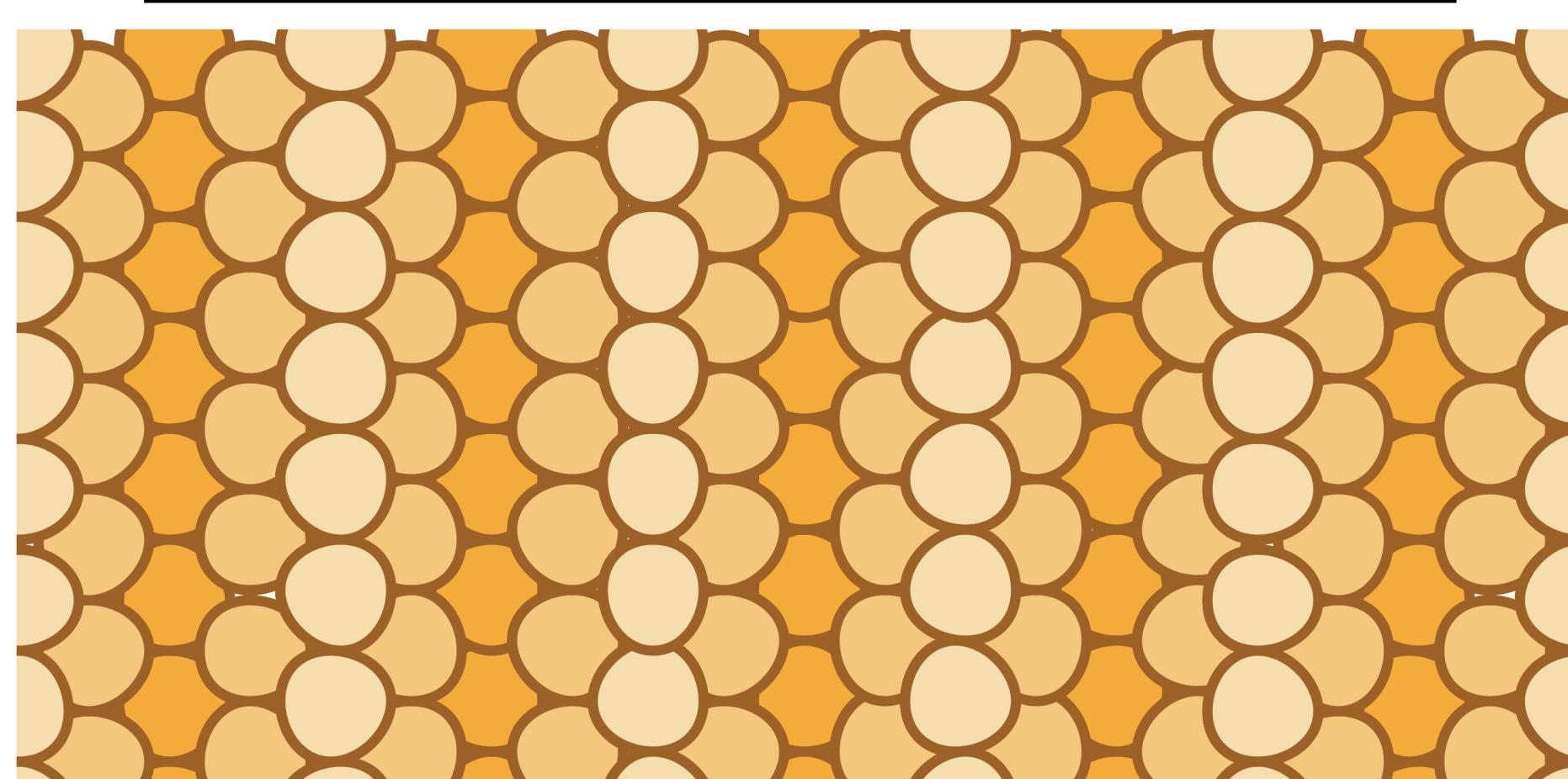
UNIVERSITÄT
BIELEFELD

Fakultät für Chemie

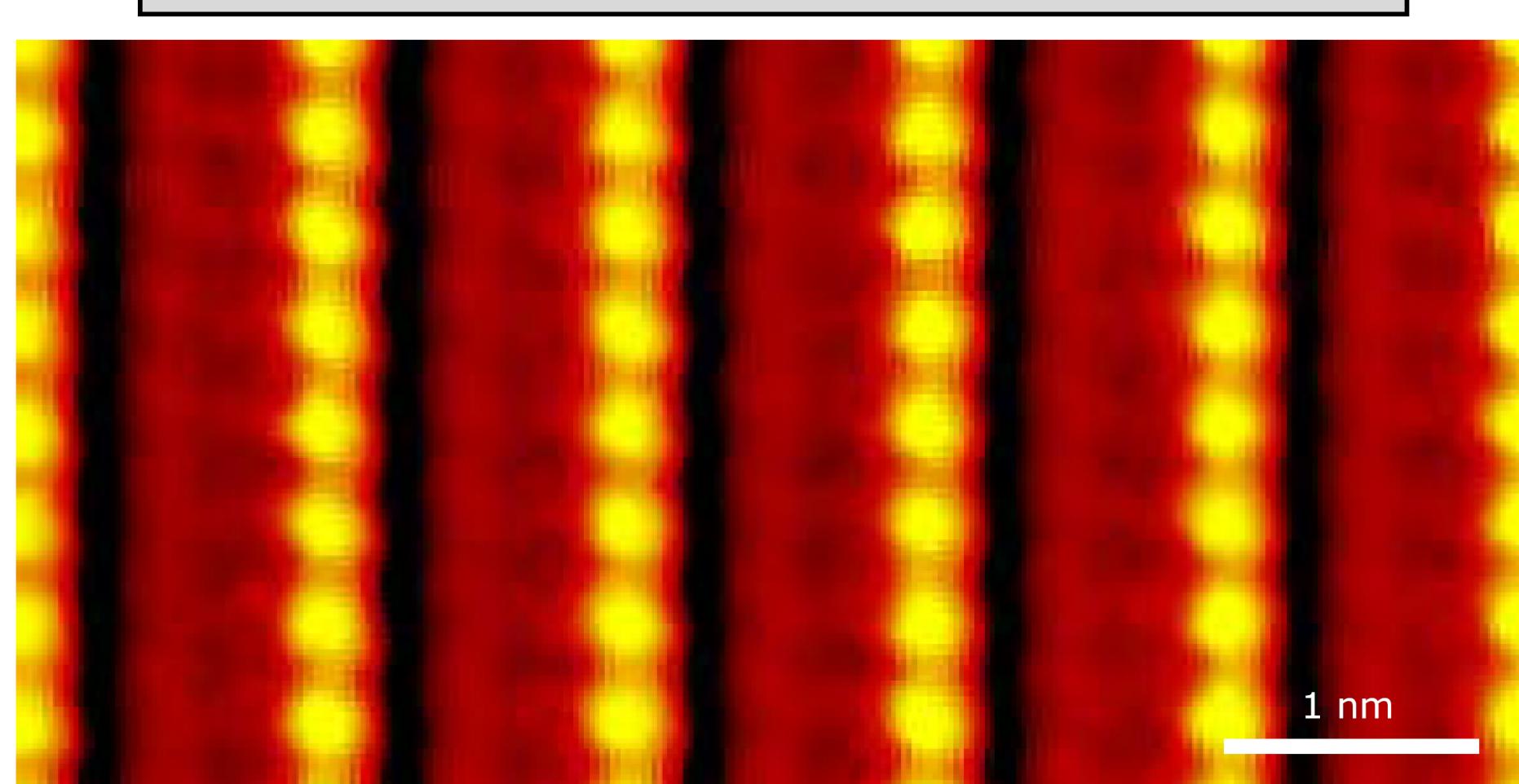
Motivation und Zielsetzung

- Die Entwicklung der Rastertunnelmikroskopie läutete 1981 neue Ära in der Oberflächenforschung ein.
 - Der Nobelpreis 1986 wurde an die Entwickler verliehen.^[1]
 - Strukturen auf atomaren Skalen sind erstmals sichtbar gewesen.

Au(110) Oberfläche



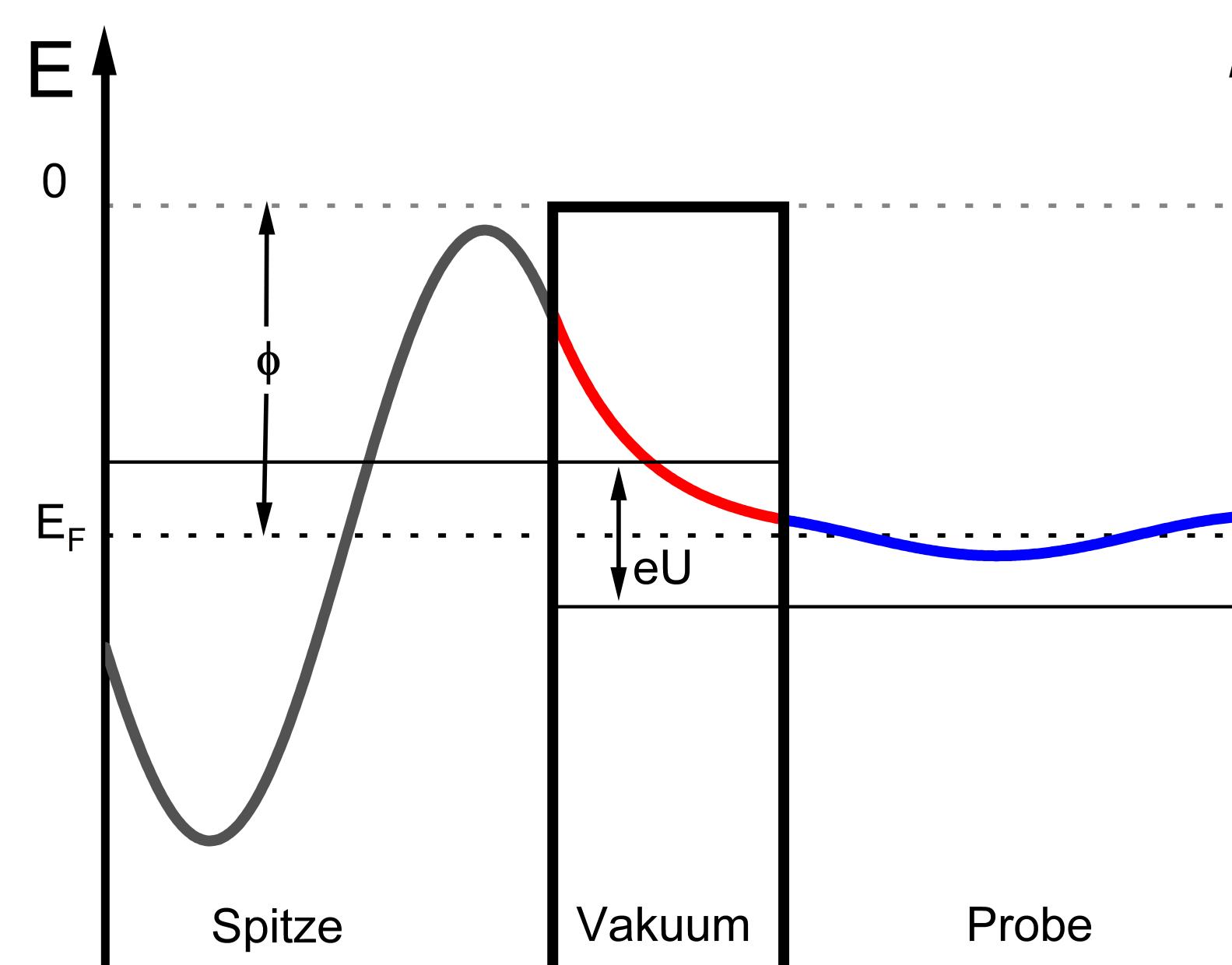
STM-Bild^[2]



- Das Prinzip der Bildaufnahme ist simpel, kommerzielle Geräte sind trotzdem sehr teuer.
- Wir wollen einen vereinfachten Aufbau erarbeiten und die Anleitung frei veröffentlichen.
 - Laien oder Interessierte können diesen nachvollziehen und nachbauen.
 - Dadurch werden Konzepte der Messtechnik und Programmierung vermittelt.
 - Physikalische Konzepte können visuell erfahren werden.

Theoretische Grundlagen

- Das Bild wird durch die Messung eines abstandsabhängigen Tunnelstromes erzeugt.^[3]
- Im klassisch physikalischen Weltbild ist kein Strom durch das Vakuum möglich.
- In der Quantenmechanik hat ein Elektron eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit hinter der Barriere.
 - Diese fällt exponentiell mit dem Abstand d .
 - Dieser Effekt wird als Tunneleffekt bezeichnet.

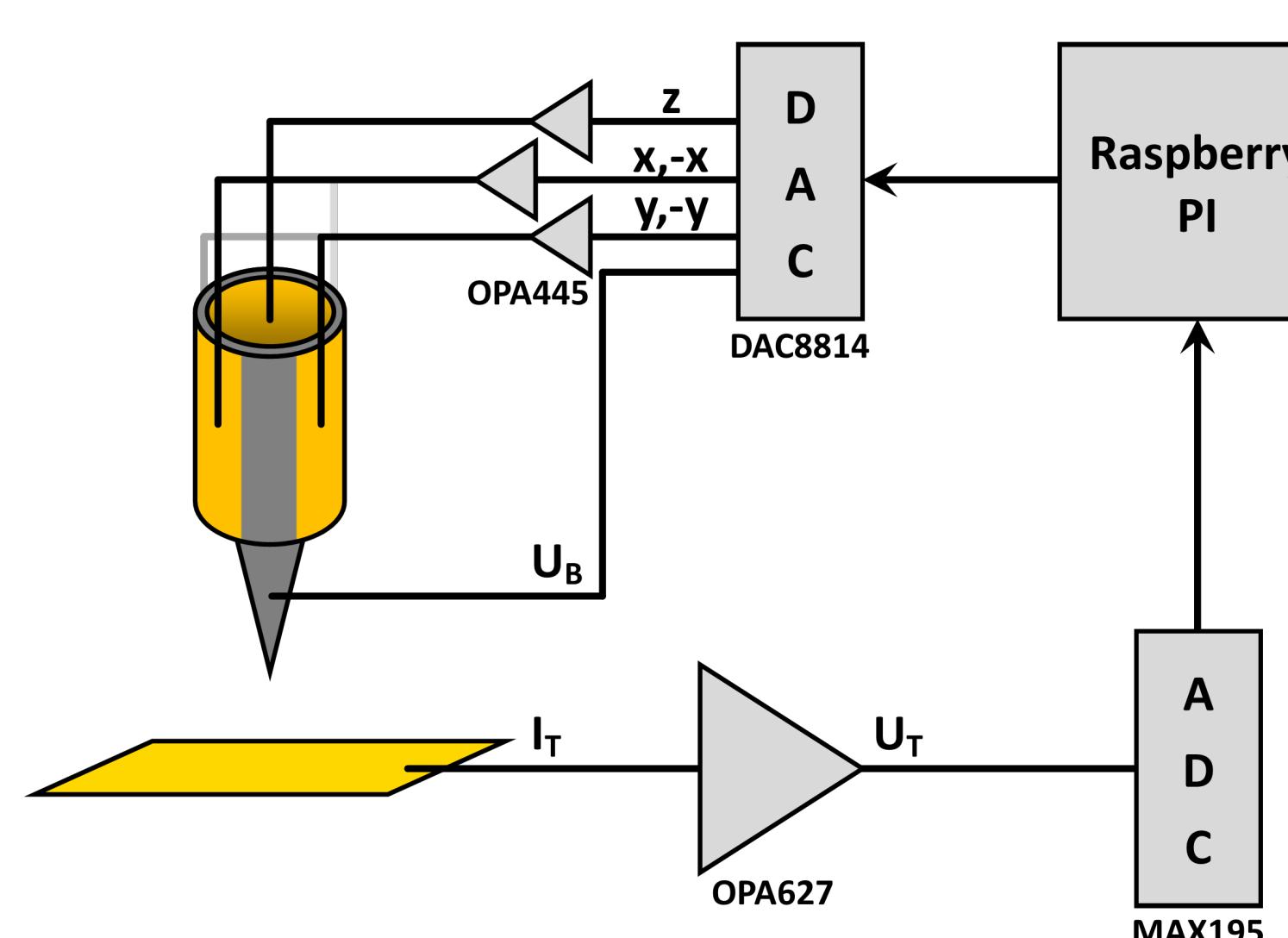


- Durch eine angelegte Vorspannung werden die Potentiale gegeneinander um eU verschoben.
 - Das Tunneln ist nun möglich.
 - Die Wahrscheinlichkeit dafür ist abhängig von der lokalen Zustandsdichte φ .
- Der Tunnelstrom ist sehr klein, aber messbar.

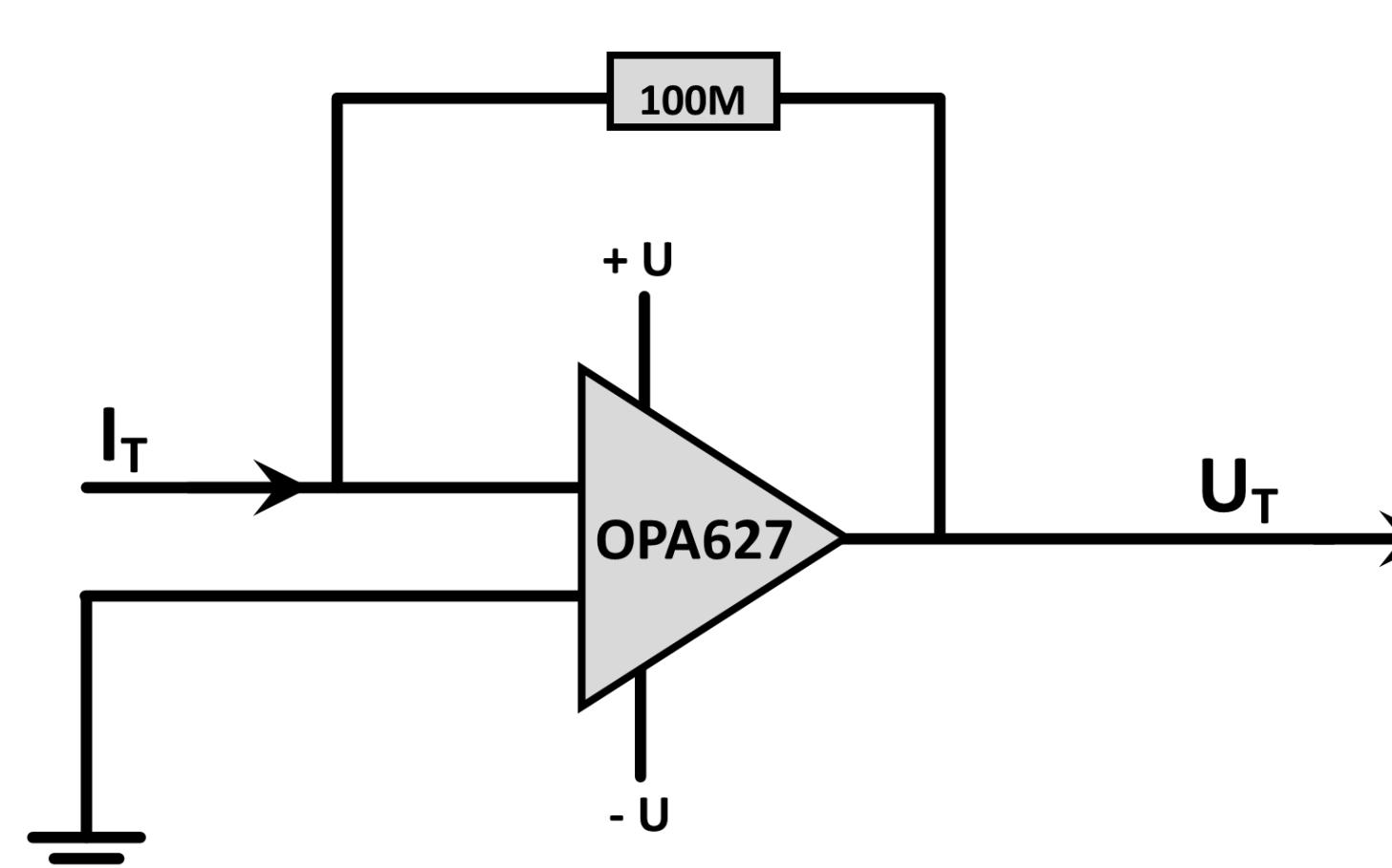
$$I_t \propto eU \cdot \varphi(0, -E_F) \cdot e^{(2/\hbar\sqrt{2m_e\phi}) \cdot d} \quad (1)$$

Experimenteller Aufbau

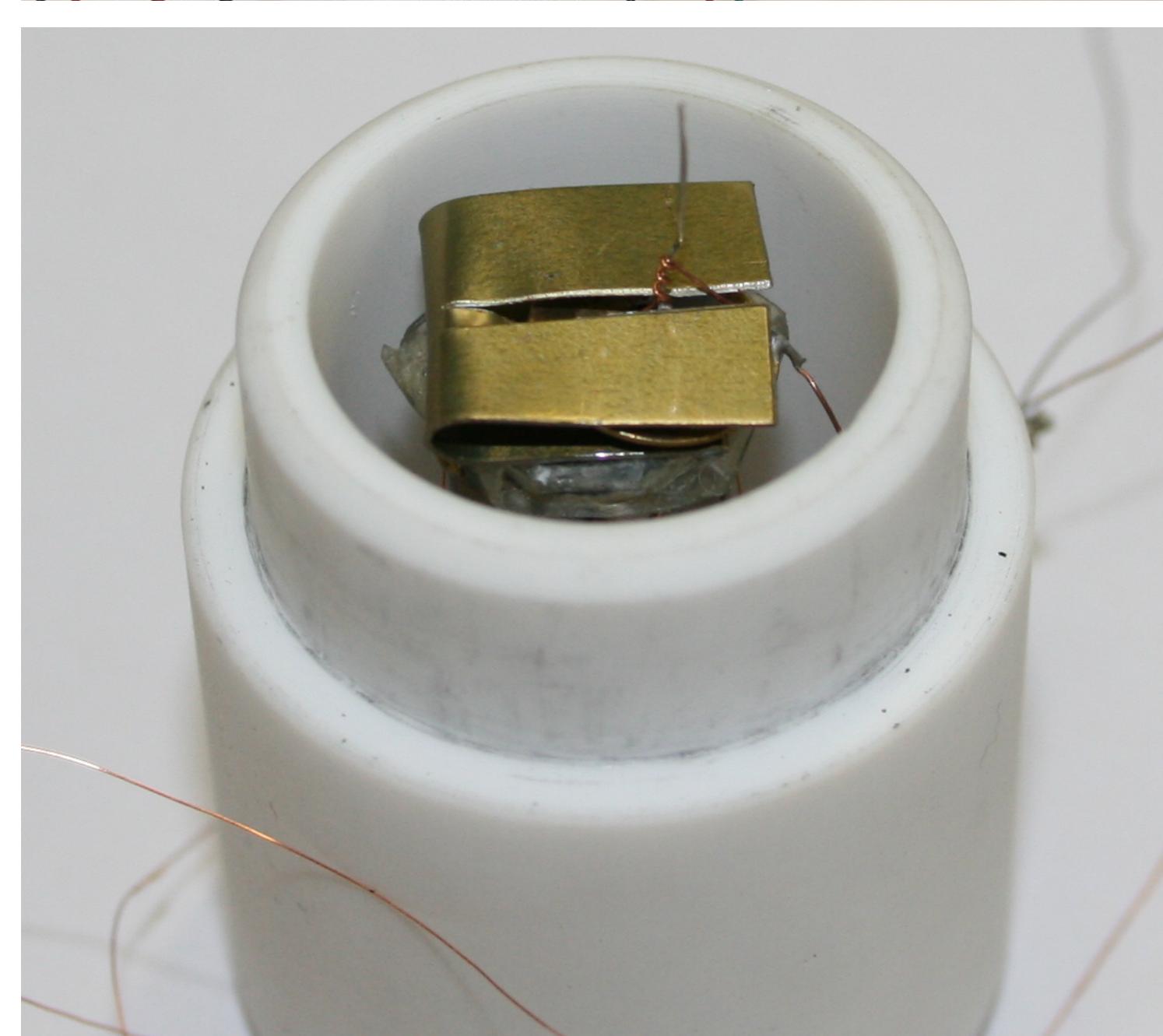
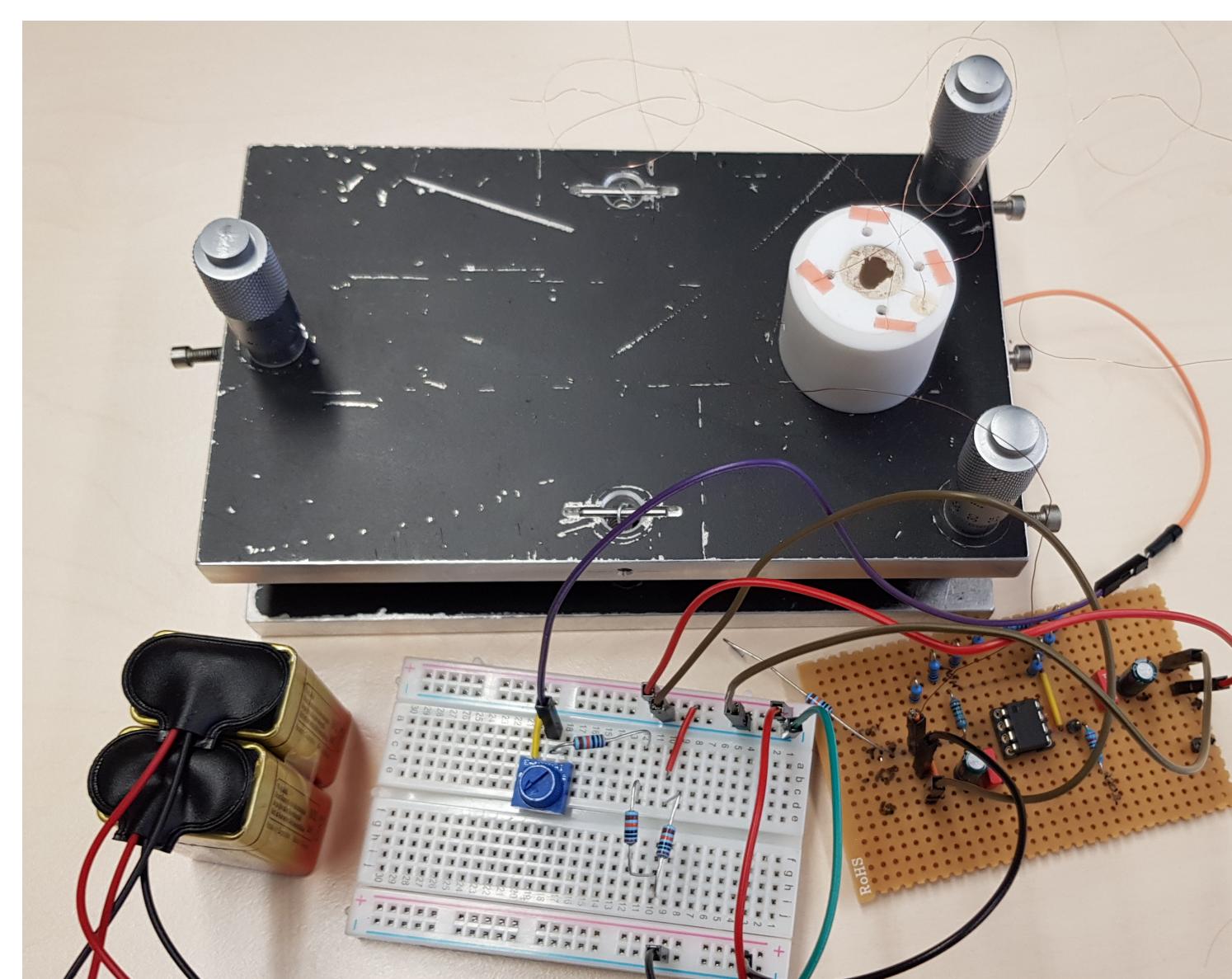
- Die Grobannäherung erfolgt über eine Dreibeinkonstruktion mit Mikrometerschrauben.
- Eine Feinannäherung wird durch Auslenkung des Piezo erreicht.
- Der Digital-Analog-Wandler (DAC) setzt die Spannungen an Piezo und Spitzte.
- Der Tunnelstrom wird verstärkt und durch den Analog-Digital-Wandler (ADC) geleitet.
- Ein Messcomputer nimmt das Signal auf und verarbeitet die Daten.



- Ein Vorverstärker^[4] wurde gebaut und getestet.
- Der Tunnelstrom wird in eine Spannung umgewandelt und 100-Mio.-fach verstärkt.



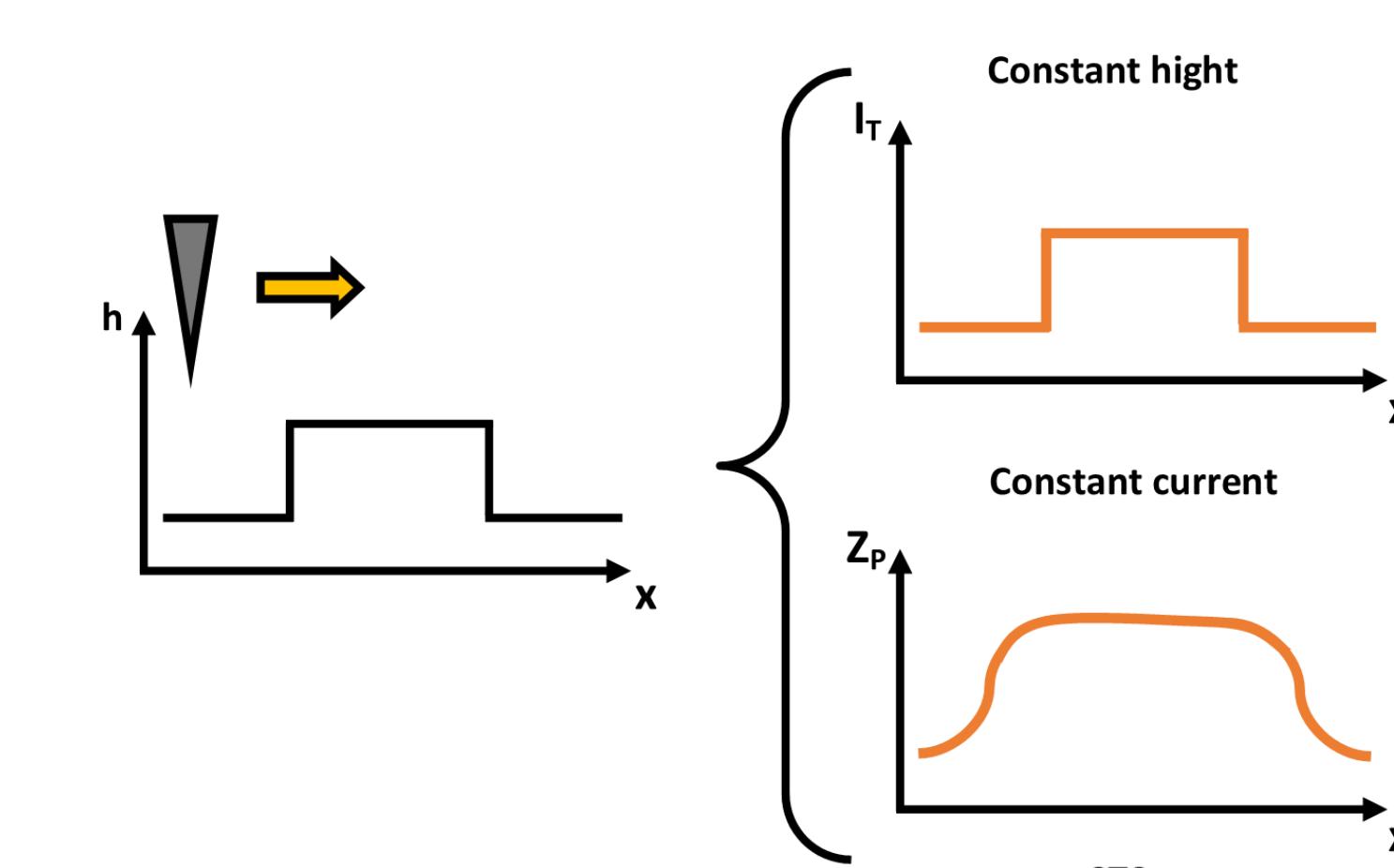
- Ein Annäherungsmechanismus mit Mikrometerschrauben und Halterung wurde angefertigt.
- Der Messkopf mit Piezoröhrchen und Spitzte wurde gebaut,
- Eine Messelektronik mit ADC und DAC wird getestet.
- Ein rudimentäres Pythonprogramm sendet und liest Daten.



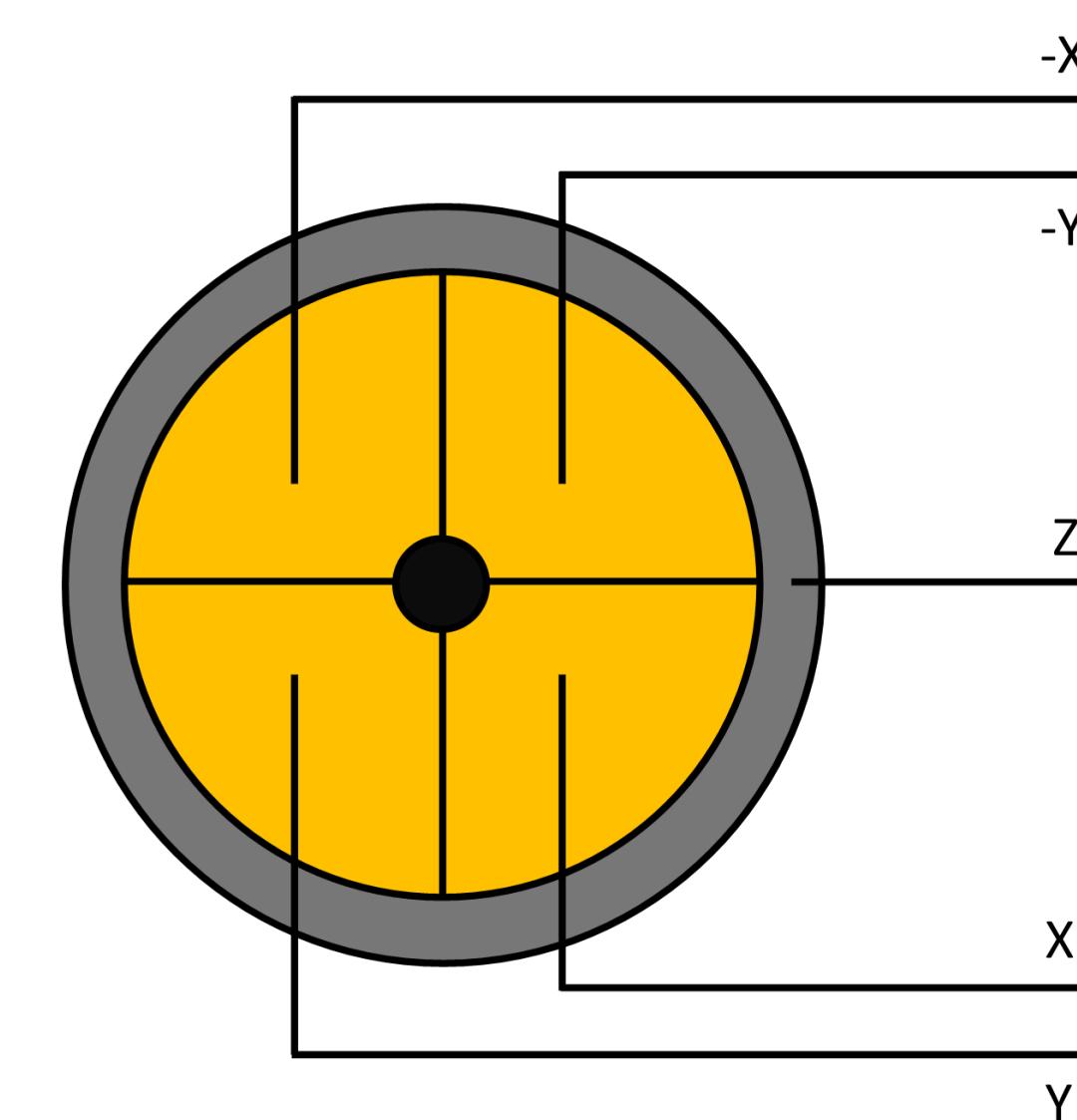
- Erste Versuche für das Tunnelsignal führten zur Messung eines Kontaktstromes.
 - Der Verstärkungsfaktor war zu klein.
- Ein verbesserter Verstärker zeigt ein 50 Hz Rauschen.
 - Dieses wird durch das Oszilloskop eingekoppelt.

Pläne und Möglichkeiten

- Die Messelektronik soll von Steckplatten auf Platinen wechseln:
 - Das Signal wird stabiler und enthält weniger Rauschen.
- Durch eine Messsoftware sind verschiedene Messmodi möglich:^[5]
 - Constant-height-modus:* Die z-Piezospannung bleibt konstant, der Tunnelstrom wird gemessen.
 - Constant-current-modus:* Der Tunnelstrom bleibt konstant, die z-Piezospannung wird geregelt.



- Eine Schwingungsdämpfung ist sinnvoll; möglich sind:
 - Dämpfung mit Federn,
 - Wirbelstrombremse mit Magneten.
- Einen Discscanner^[6] bauen, welcher:
 - ein ähnliches Prinzip wie der Röhrchenscanner hat,
 - aber kostengünstiger und verfügbarer ist.



Danksagung

Wir bedanken uns bei Angelika Kühnle, Ralf Bechstein, Andreas Brockhinke, Michael Letzgus-Koppmann und Hannes Hoppe. Des Weiteren bedanken wir uns bei der Mechanik- sowie der Elektronikwerkstatt der Fakultät für Chemie.

Literatur

- [1] Royal Swedish Academy of Sciences, *NobelPrizes 1986*, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1986/press-release/>, abgerufen: 11.11.2019.
- [2] Zur Verfügung gestellt von: A. Kühnle.
- [3] C. J. Chen, *Introduction to scanning tunneling microscopy*, 2008.
- [4] D. Berrard, *Home-Built STM*, dberard.com/home-built-stm/, abgerufen: 11.11.2019.
- [5] B. Voigtländer, *Scanning Probe Microscopy*, 2008.
- [6] J. Alexander *STM Project*, web.archive.org/web/201211072052242/http://www.geocities.com/spm_stm/project.html, abgerufen 11.11.2019