

Praktikum 4 – Versuch 422: Rastertunnelmikroskop

Jonas Wortmann^{1*} and Angelo Brade^{2*}

^{1,2*}Rheinische Friedrich–Wilhelms–Universität, Bonn.

*Corresponding author(s). E-mail(s): s02jwort@uni-bonn.de; s72abrad@uni-bonn.de;

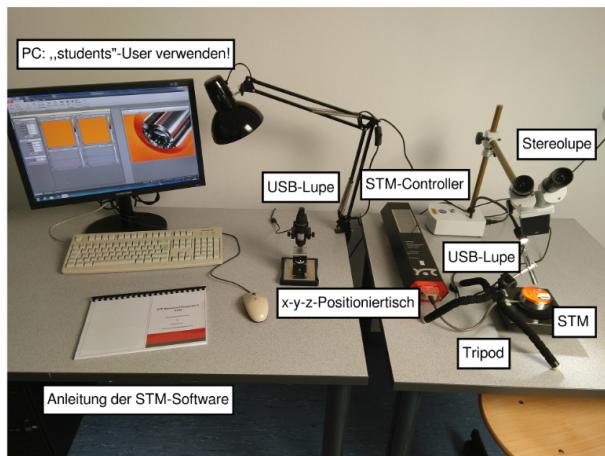


Abbildung 2 NaioSTM von Nanosurf.^[2]

Abbildung 1 Experimentertisch.^[1]

1 Einleitung

Wenn sich zwei leitende Materialien mit verschiedenen Austrittsarbeiten nahe genug kommen, dann ist es Elektronen im FERMI-Niveau möglich, zwischen den Materialien zu tunnen. Das Rastertunnelmikroskop (STM, scanning tunneling microscope) verwendet diesen Effekt, um Strukturen von Materialien auf mikroskopischer Ebene aufzulösen.

2 Experimenteller Aufbau

Der experimentelle Aufbau ist in Abb. (1) zu sehen. Das verwendete STM ist das „NaioSTM“ von *Nanosurf* (www.nanosurf.com) Das STM ist in Abb. (2) zu sehen. Der silberne Zylinder ist der

Probenhalter, an dem die Probe mit einem Magneten festgehalten wird. Der Probenhalter wird mit dem Slip-Stick Mechanismus bewegt. Gegenüber der Probe ist eine Klammer, die einen Pt-Ir Draht hält (Abb. (3)). Dieser ist die Spitze des Mikroskops. Siehe auch Abb. (4) und (5).

2.1 Theoretischer Hintergrund: STM

Werden Spitze und Probe nah genug aneinander gefahren (s. Abb. (3)¹), so ist es den Elektronen im FERMI-Niveau der Probe möglich zur Spitze zu tunnen. Dadurch entsteht ein Tunnelstrom. Ein Bild der Probe wird erzeugt, in dem der gemessene Strom gegen den Ort aufgetragen wird.

¹Während der Messung sind Spitze und Probe in einem Abstand von wenigen zehntel Nanometer.

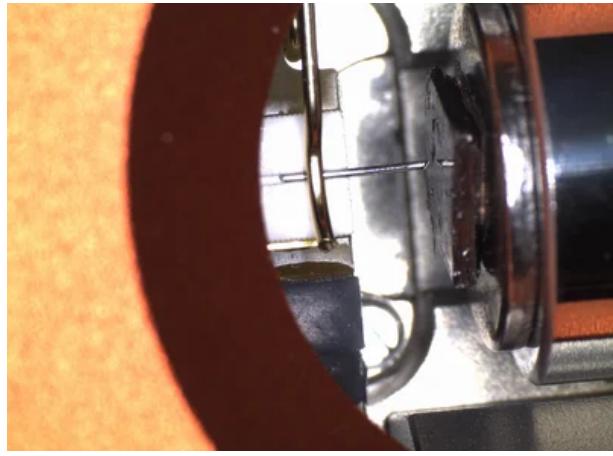


Abbildung 3 NaioSTM von Nanosurf, Nahaufnahme der Spitze und Probe.^[2]

Dieses Bild wird mit der „Easyscan 2“ Software von Nanosurf aufgenommen.

Die Spitz kann mit makroskopischen Methoden von einem langen Pt–Ir Draht gewonnen werden. Dabei wird ein kleines Stück des Drahtes mit einer Zange abgerissen, wodurch sich eine mikroskopisch kleine Spitz bildet. Da die Spitz nicht zu allen Seiten streng monoton fallend sein muss, sondern ausreichend ist, wenn es nur eine Stelle gibt, die der Probe am nächsten ist, kann diese Methode gut verwendet werden.

Die Probe wird mit dem Slip–Stick Mechanismus an die Spitz herangefahren. Dabei wird der Probenhalter mit einem anderen Material (z.B. Gummi) in Kontakt gebracht. Da der Haftreibungskoeffizient größer als der Gleitreibungskoeffizient ist, kann durch langsame Bewegung des Gummis die Haftung zum Probenhalter erhalten bleiben und der Probenhalter wird verschoben. Durch schnelles Zurückziehen des Gummis gleitet dies über den Probenhalter zurück in seine ursprüngliche Position und kann erneut am Probenhalter haften.

Die Bewegung der Probe orthogonal zur Spitz werden mit Hilfe von PIEZO–Kristallen realisiert. Ein PIEZO–Kristall besitzt in einer bestimmten Achse des Gitters keine Spiegelsymmetrie, wodurch mechanische Stauchung und Streckung eine Potentialdifferenz im Kristall verursachen. Dieses Phänomen funktioniert auch andersherum. Durch

eine angelegte Spannung verschieben sich die Landungsträger, wodurch eine Stauchung oder Streckung verursacht wird. Dadurch wird die Probe (der Probenhalter) orthogonal verschoben.

Das STM kann in zwei Modi verwendet werden.

Im *constant current mode* wird die Entfernung der Spitz von der Probe so reguliert, dass immer die gleiche Stromstärke gemessen wird. Dies wird mit einem PID–Regelkreis (proportional integral differential) realisiert. Die Einstellung hierfür sind $P = 2000$, $I = 2000$ und $D = 0$. Dieser Modus ist vor Allem für Proben mit unebenem Höhenprofil vorteilhaft, um die Spitz nicht auf der Probe auflaufen zu lassen.

Im *constant height mode* wird die Entfernung der Spitz von der Probe konstant gelassen. Dies ermöglicht eine wesentlich schnellere Messung, ist allerdings nur für ebene Proben ratsam. Die Einstellung des PID–Regelkreises sind $P = 0$, $I = 4$ und $D = 0$.

3 Durchführung & Auswertung: Goldprobe

4 Durchführung & Auswertung: HOPG–Probe

5 Fazit

Literatur

- [1] Praktikumsleitung: P422 rastertunnelmikroskop. Universität Bonn (2016)
- [2] Nanosurf. www.nanosurf.com/en/products/naiostm. Letzter Zugriff: 2025-01-05

6 Appendix



Abbildung 4 Spitze 1.

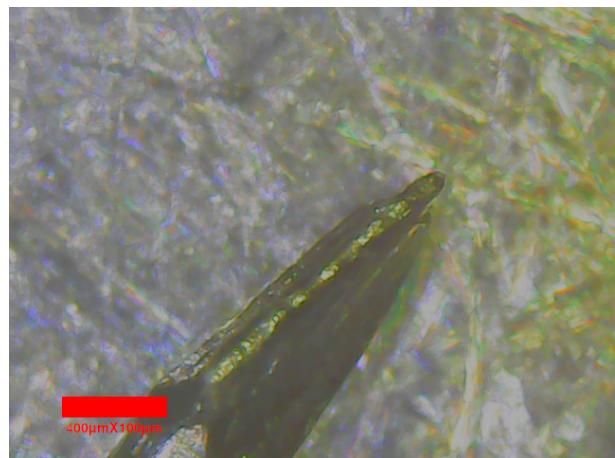


Abbildung 5 Spitze 2.

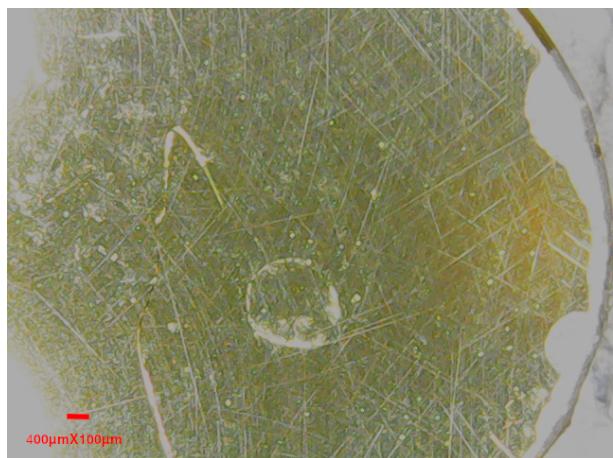


Abbildung 6 Gold fern.

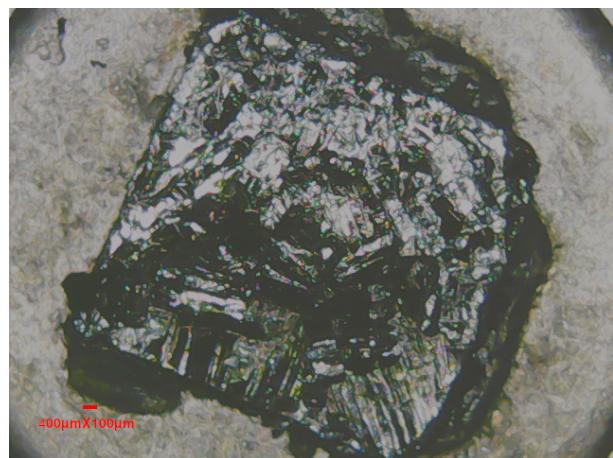


Abbildung 9 Graphit fern.

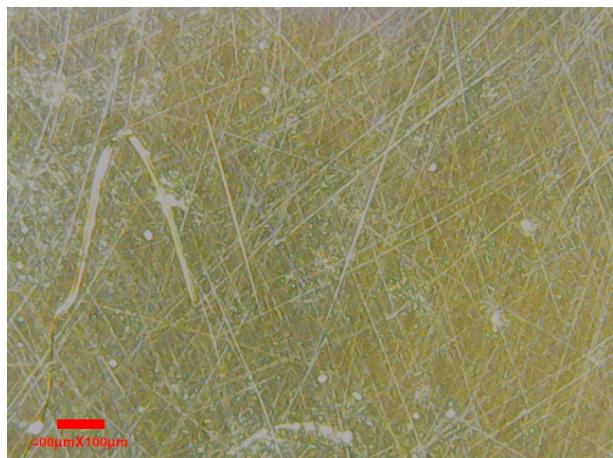


Abbildung 7 Gold mittel.

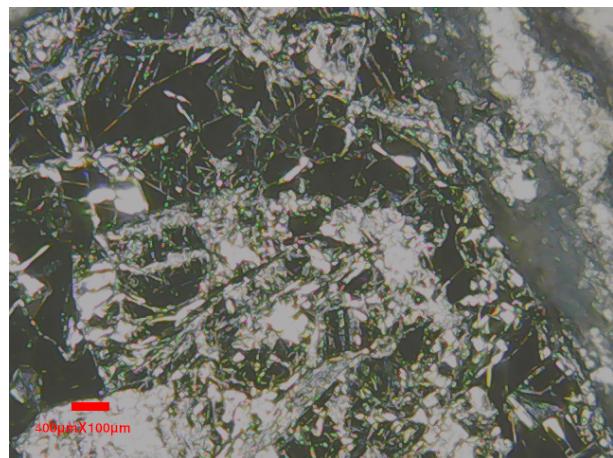


Abbildung 10 Graphit mittel.

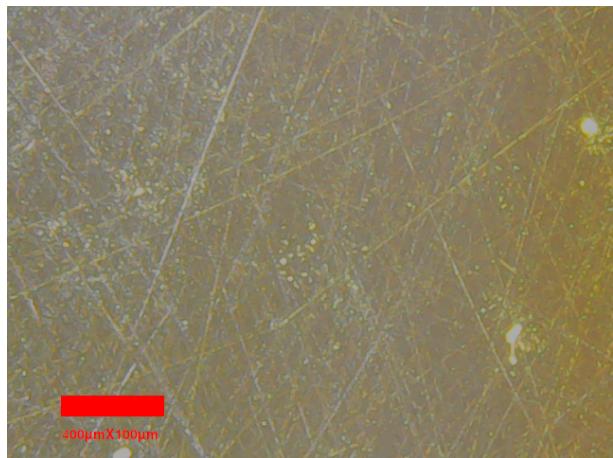


Abbildung 8 Gold nah.

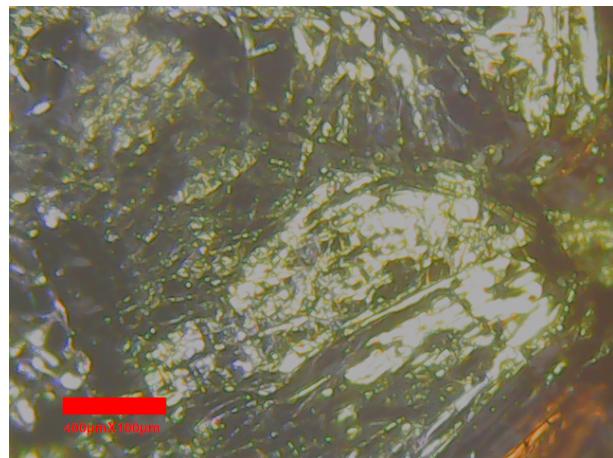


Abbildung 11 Graphit nah.

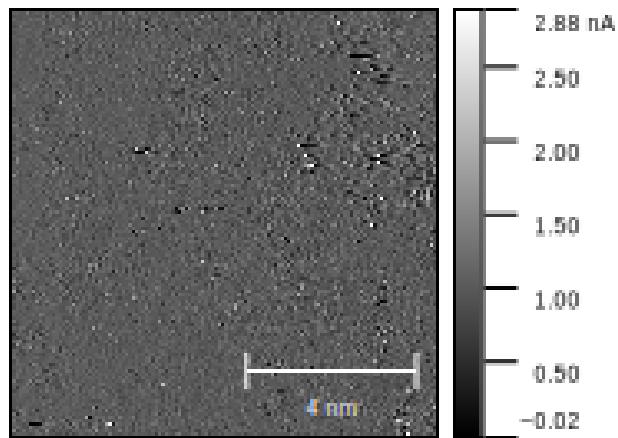


Abbildung 12 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=1 V)

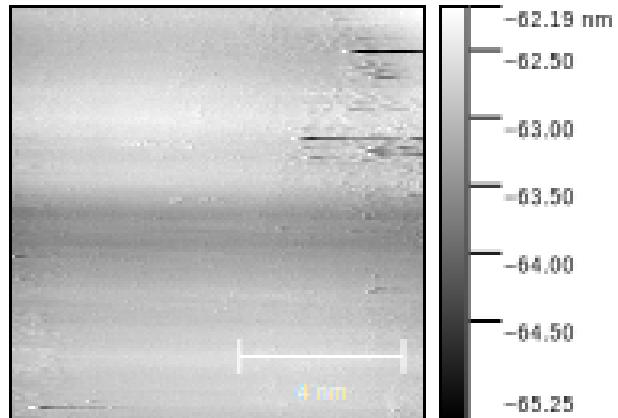
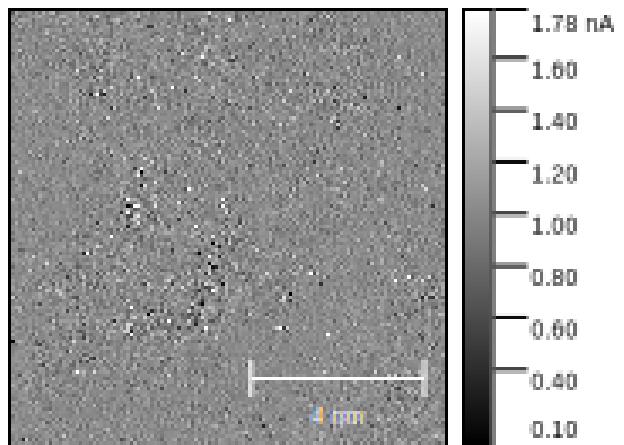


Abbildung 13 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=1 V)

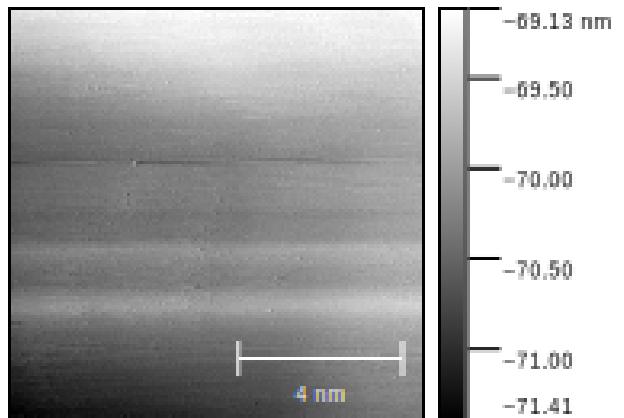


Abbildung 15 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 mV)

7 Spitzen

8 Gold Probe

9 Graphit Probe

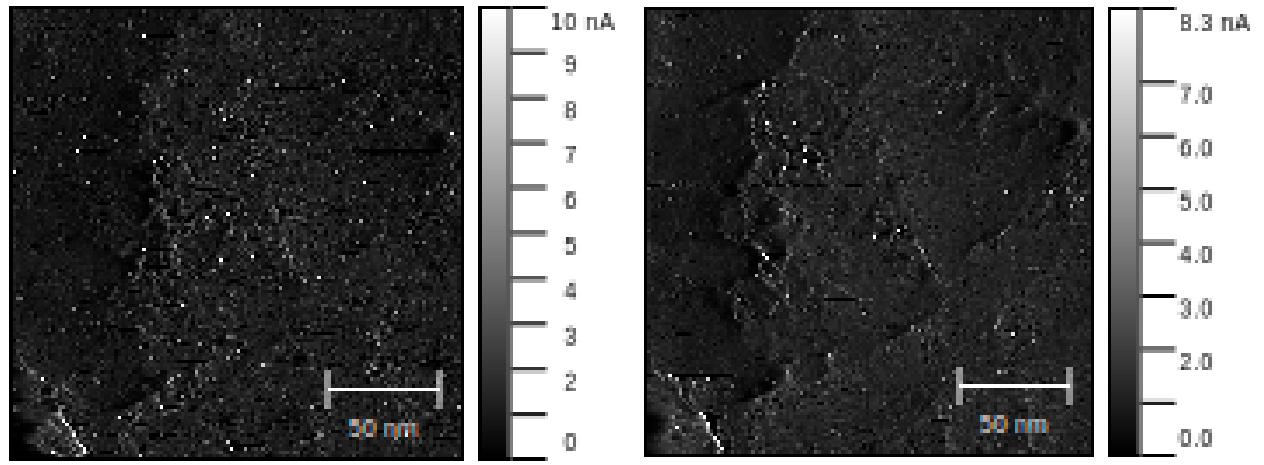


Abbildung 16 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=1 V)

Abbildung 18 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 mV)

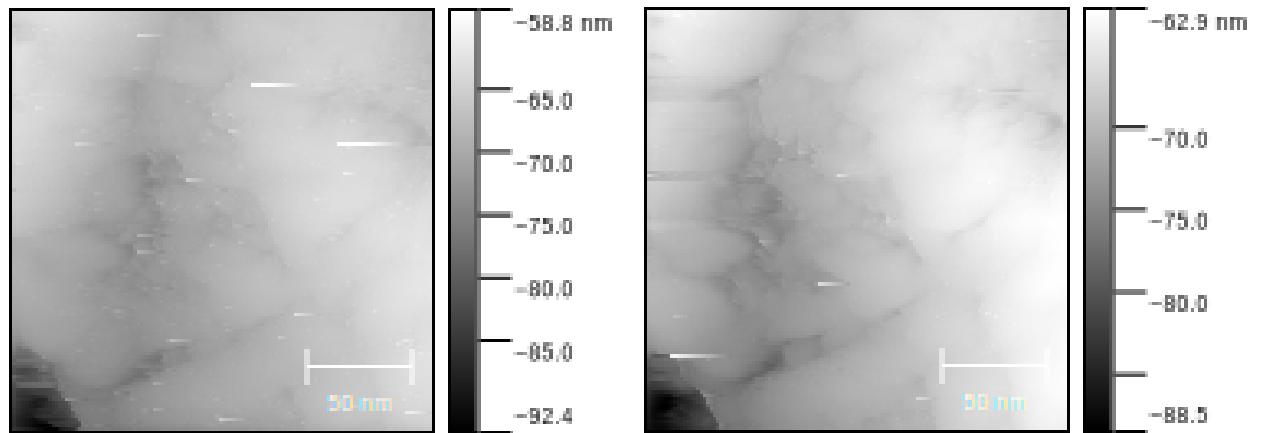


Abbildung 17 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=1 V)

Abbildung 19 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 mV)

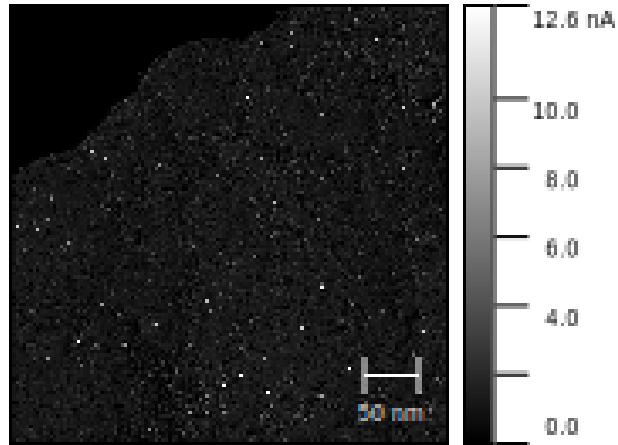


Abbildung 20 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=1 V)

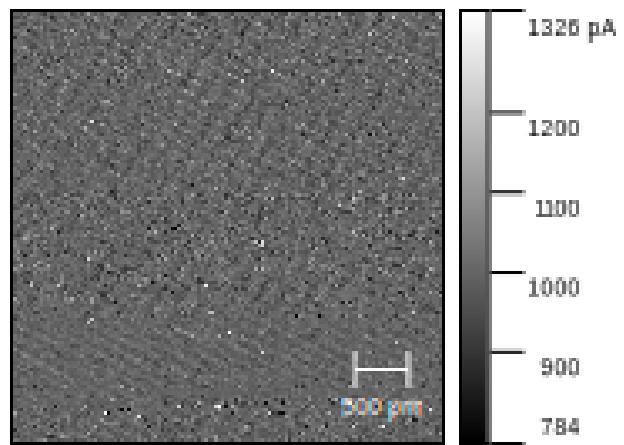


Abbildung 22 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

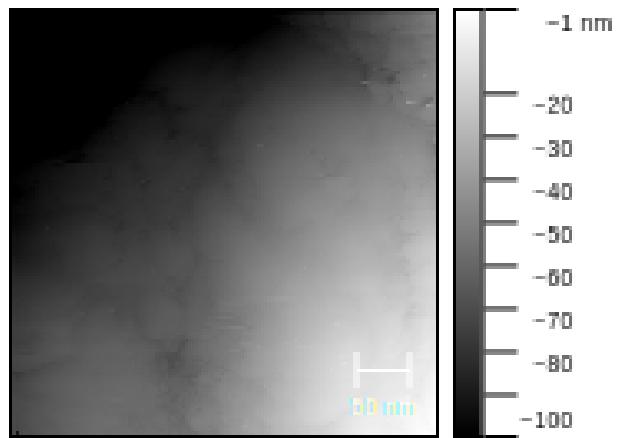


Abbildung 21 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=1 V)

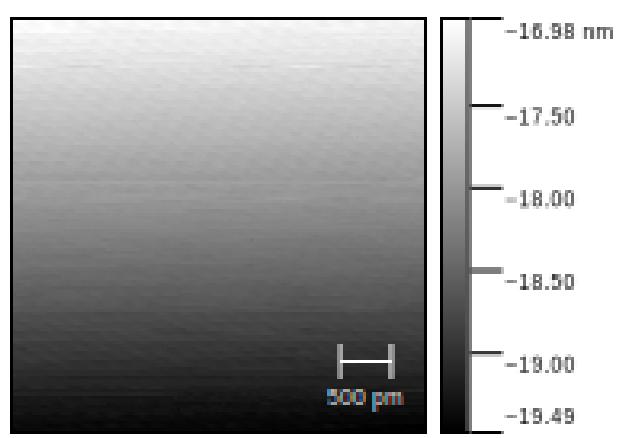


Abbildung 23 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

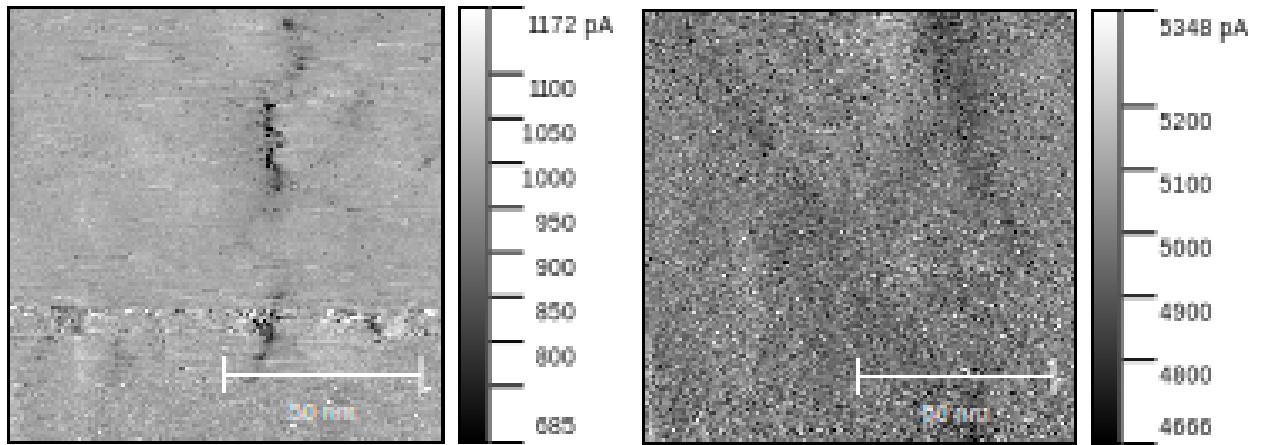


Abbildung 24 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=100 nV)

Abbildung 26 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=5 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=200 nV)

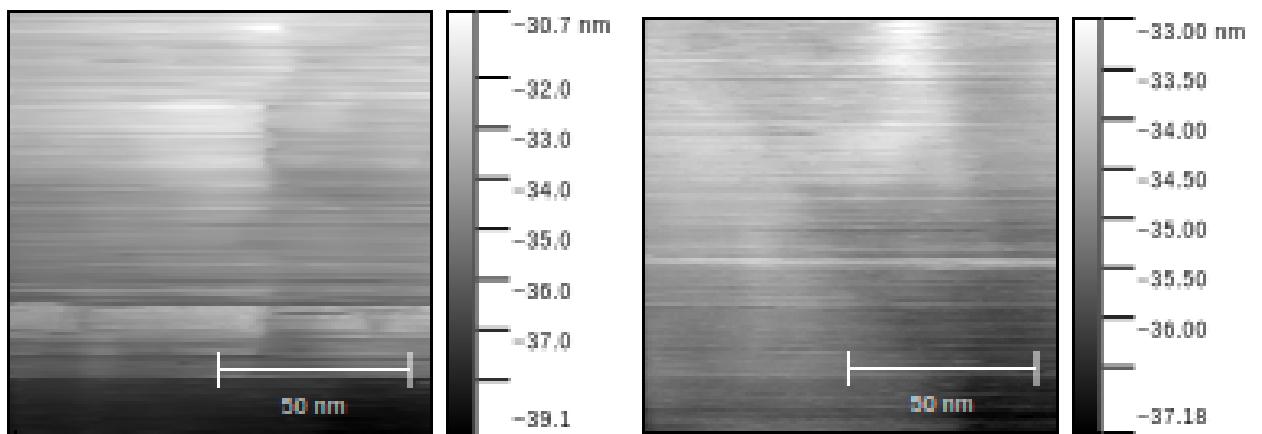


Abbildung 25 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=100 nV)

Abbildung 27 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=5 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=200 nV)

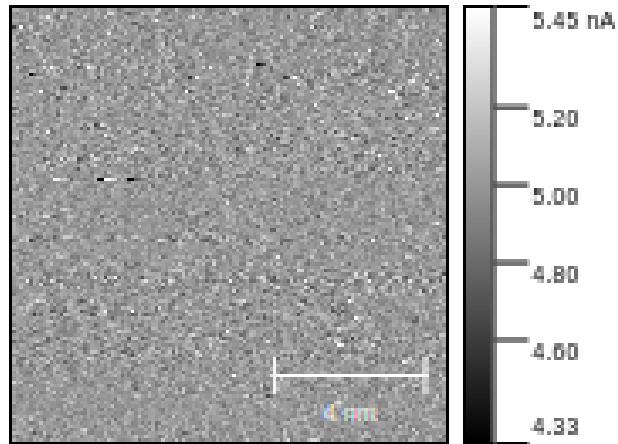


Abbildung 28 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=5 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=200 nV)

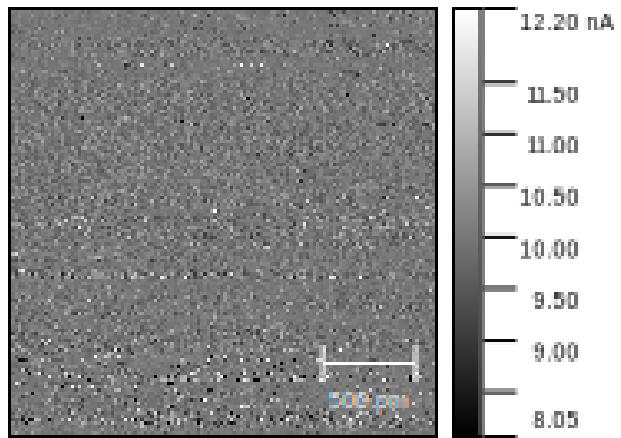


Abbildung 30 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

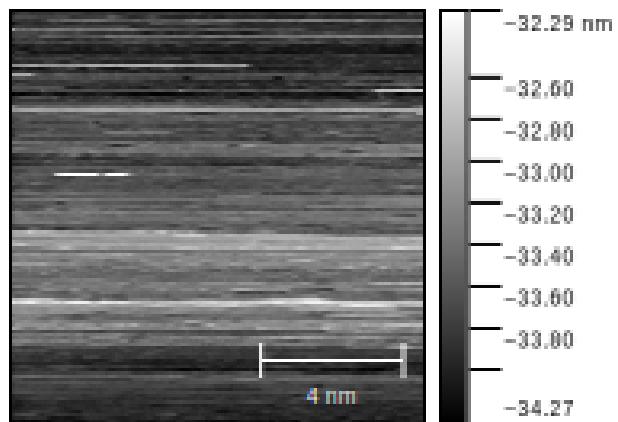


Abbildung 29 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=5 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=200 nV)

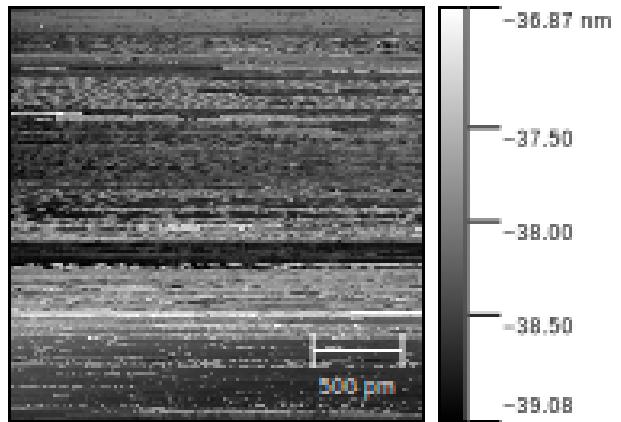


Abbildung 31 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

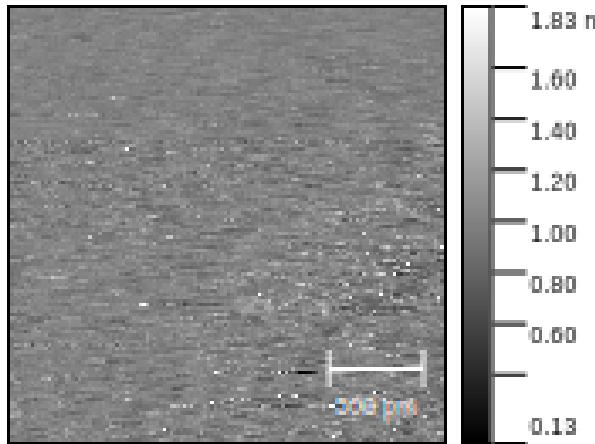


Abbildung 32 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

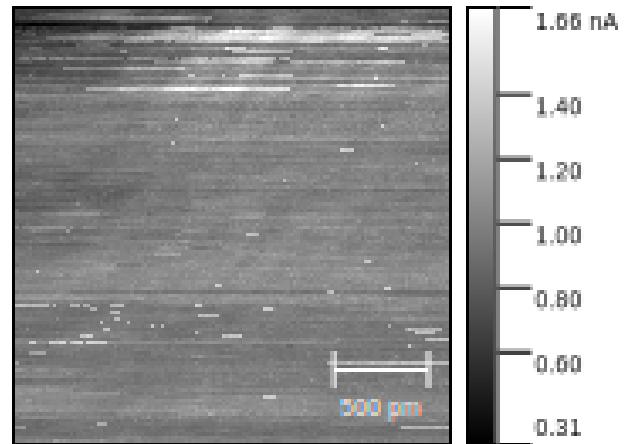


Abbildung 34 Gold: Strom Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

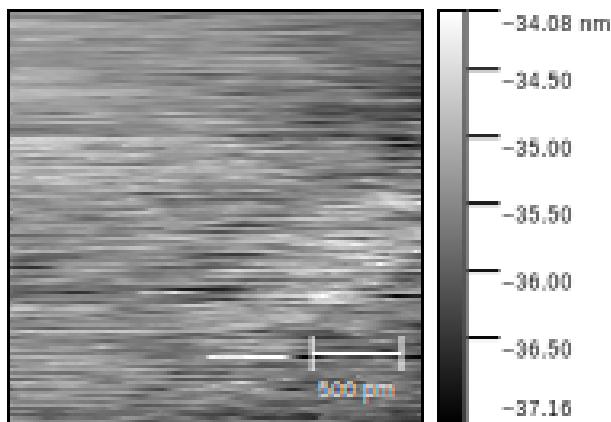


Abbildung 33 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=1000, I-Gain=2000 und Tip voltage=50 nV)

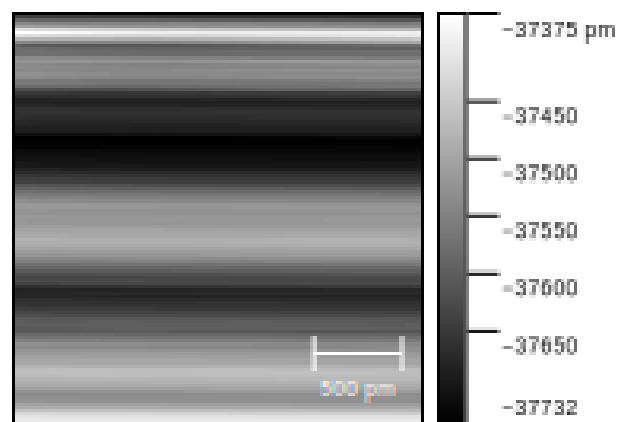


Abbildung 35 Gold: Höhen Karte bei const. current Modus (Setpoint=1 nA, P-Gain=0, I-Gain=4 und Tip voltage=50 nV)