
Rastertunnelmikroskop

Friedrich Schüßler und Volker Karle

7. September 2014

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Theoretische Grundlagen | 1 |
| 1.1 | Grundlagen der Festkörperphysik | 1 |

1 DURCHFÜHRUNG DES VERSUCHS

Die Durchführung des Versuches gestaltete sich deutlich schwieriger als zuvor angenommen. Erst im Laufe des zweiten Versuchstages gelang uns eine Aufnahme der Graphitoberfläche mit atomarer Auflösung. Als Ursache ist vor allem die Verwendung unbrauchbarer Spitzen zu sehen, deren Unbrauchbarkeit jedoch erst nach langer Zeit bemerkbar wurde. Dazu kamen immer wieder kleinere Probleme mit dem Messgerät, bei dem zum Teil wichtige Funktionen versagten.

1.1 ABLAUF DES EXPERIMENTS NACH LABORPROTOKOLL

Die gesamten Untersuchungen wurden im 'constant current'-Betriebsmodus gemacht. Dabei wurde der Strom in fast allen Fällen bei der Standarteinstellung $I = 1\text{ nA}$ belassen. Ausnahmen davon sind extra markiert worden. Die ersten Versuche wurden, soweit nicht anders angegeben, mit den Standarteinstellungen des Programms unternommen. Zu den ersten Versuchen mit gebrauchten Spitzen zum Kennenlernen des Programms gibt es keine Aufzeichnungen. Die Herstellung der Spitze hat einiges an Übung erfordert. Bei den ersten Spitzen hat das Reißen nicht geklappt, sodass ein unter der Lupe relativ glatter Schnitt zu erkennen war. Brauchbare Ergebnisse lieferten diese Spitzen nicht. Die meisten Spitzen, die wir verwendeten, waren aus alten Spitzen 'recycelt', indem an der Spitze nachgeschnitten bzw. neu abgerissen wurde. Tendenziell bessere Ergebnisse lieferten die Spitzen die direkt vom langen Draht abgerissen wurden, da hier das Abreißen einfacher zu realisieren war. In der folgenden Tabelle sind 'recycelte' Spitzen mit 'r', ohne Weiterbehandlung wiederverwendete mit 'w' und neue Spitzen mit 'n' gekennzeichnet. U ist die Spannung, die an die Spitze angelegt wurde. Für die automatische Annäherung wurde jeweils mit ca. 80mV angefangen, danach bis in 10mV Schritten bis auf ca. 50mV gesenkt. Die Annäherungsgeschwindigkeit ν dabei leicht von 48% bis 35% heruntergefahren.

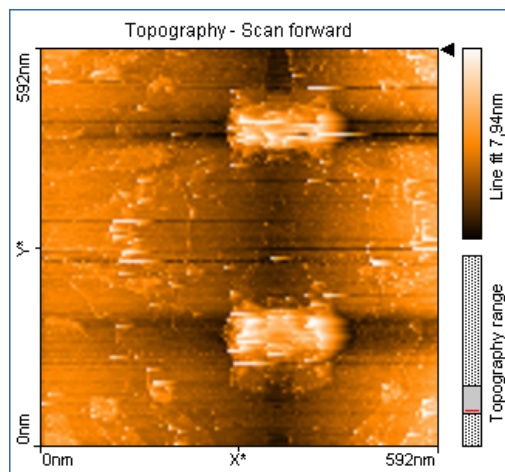
| n | Spitze | Beschreibung |
|-----|--------|---|
| 1 | r | Spitze und Probe nach erfolgreicher Annäherung beim Abrastern kollidiert (bei 600nm Rasterlänge) |
| 2 | w | U bis minimal 50mV, auf verschiedenen Größenskalen kein Signal ($I = 0$) |
| 3 | r | $U = 64\text{mV}$, Symmetrische Struktur bei 600nm erkennbar, bei 180nm regelmäßige Struktur in der Größenordnung von 50nm zu erkennen, bei 10nm Rauschen (Abb. ??) |
| 4 | r | unter der Lupe vielversprechendere Schnitt. 'Advance'-Funktion geht nicht. Ein Annähern mit der Hand führt zur Kollision |
| 5 | n | 'Advance'-Funktion nach Putzen sämtlicher Teile und Neustart des Systems wieder funktionstüchtig. Die ersten Messungen bei 600nm, 180nm und 30nm sind konsistent (es wurde jeweils auf den Bereich des Maximums vergrößert). Bei 10nm ist jedoch nur Rauschen zu erkennen. (Abb. ??). |
| 6 | r | Bei verschiedenen Spannungen nach vollendetem 'Approach' kein Signal |
| 7 | r | Gleiches Problem wie bei '6' |
| 8 | w | Kein gutes Signal, Spitze offenbar unbrauchbar (Abb. ??) |
| 9 | n | siehe weiter unten |
| 10 | r | Kollision gemeldet nach Annäherung mit Geschwindigkeit 45% bei $U = 80\text{mV}$, gemessener Tunnelstrom nicht homogen. |
| 11 | r | erneut Kollision bei erstem Scan und gleichen Einstellungen, bei kleineren Skalen (100nm, 10nm) lediglich Rauschen. |

Anhand der neunten Spitze, die neu vom Draht gerissen wurde, wird exemplarisch das Vorgehen dargestellt. Dabei ist n der Schritt, v die eingestellte Annäherungsgeschwindigkeit für die automatische Annäherung, U die angelegte Spannung, a die Skala und z_{\max} der maximale berechnete Höhenunterschied.

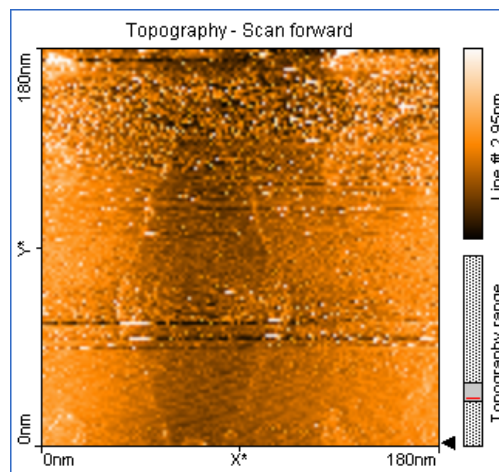
| n | v | U | a | z_{\max} | Beobachtung |
|-----|-----|------|-------|------------|---|
| 1 | 45% | 80mV | 600nm | 27nm | Symmetrische Struktur über den gesamten Scanbereich, starkes Rauschen (Abb. ??) |
| 2 | 40% | 60mV | 100nm | 2.7nm | Fast ausschließlich Rauschen zu erkennen, leichte Wölbung, Tunnelstrom I nicht konstant (Abb. ??) |
| 3 | 38% | 50mV | 10nm | 1.4nm | Horizontale Linien (Rauschen) bei konstantem I , keine Gitterstruktur erkennbar. (Abb. ??) |

Der erste und einzige erfolgreiche Versuch wurde mit der 12. Spitze, die wiederum neu abgerissen wurde, unternommen. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Schritte aufgelistet. Die automatische Annäherungsgeschwindigkeit liegt mit Ausnahme des ersten Schrittes (46%) immer bei 40%, der Tunnelstrom I bei 1nA (mit Ausnahme des letzten Schrittes mit 2nA). Mit 'px/l' ist die Anzahl der Messpunkte bzw. Pixel pro Linie und damit auch die Anzahl der Linien in z-Richtung bezeichnet, mit t die Zeit, die pro Abfahren einer Linie.

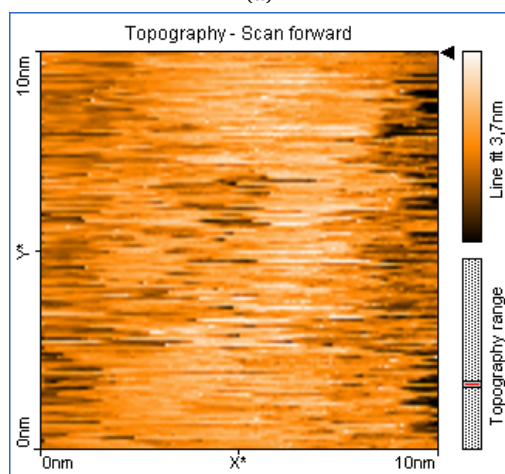
| n | Abb. | $\frac{U}{\text{mV}}$ | $\frac{px}{l}$ | $\frac{t}{s}$ | $\frac{a}{\text{nm}}$ | $\frac{z_{\text{max}}}{\text{nm}}$ | Beobachtung |
|-----|------|-----------------------|----------------|---------------|-----------------------|------------------------------------|--|
| 1 | ?? | 80 | 128 | 0.4 | 600 | 17 | großflächige Struktur mit Stufen und konstanter Höhe im Zentrum; Wiederholung der Messung bei 55mV ergab keine sichtbare Veränderung |
| 2 | ?? | 55 | 256 | 0.4 | 180 | 2.36 | Vergrößerung in den Bereich bei ca. $(x, y) = (500\text{nm}, 0\text{nm})$ im Bezug auf Abb ??; Abstufungen und Interferenzartige Ringe zu erkennen |
| 3 | ?? | 55 | 256 | 0.4 | 30 | 0.27 | Trotz Rauschen ist eine regelmäßige Struktur zu erkennen |
| 4 | ?? | 55 | 256 | 0.4 | 10 | 0.16 | Gitter aus gerade angeordneten Punkten sichtbar |
| 5 | ?? | 55 | 256 | 0.4 | 10 | 0.21 | Wiederholung an gleicher Stelle, verzogenes Bild mit schlechterer Auflösung, Wärmedrift? |
| 6 | ?? | 55 | 128 | 0.4 | 3 | 0.16 | |
| 7 | ?? | 55 | 256 | 0.8 | 3 | 0.16 | Wiederholung an gleicher Stelle, starkes Rauschen, stark verzogen: Wärmedrift, zu langsam? |
| 8 | ?? | 45 | 256 | 0.8 | 3 | 0.16 | trotz starken Rauschens Punkte sichtbar |
| 9 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 3 | 0.27 | Rauschen und Drift erkennbar, keine Punkte mehr zu sehen |
| 10 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 30 | 1.55 | Wechsel der Position, jetzt bei ca. $(x, y) = (100\text{nm}, 450\text{nm})$ im Bezug auf Abb ??; Stufe zu erkennen, starkes Rauschen |
| 11 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 10 | 0.27 | Streifen mit unterschiedlich guter Auflösung, Gitter im unteren Streifen gut zu erkennen |
| 12 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 10 | 0.27 | Abschirmbox zum ersten Mal benutzt (während des Messvorgangs - Störung als schwarzer Streifen bei $y \approx 1\text{nm}$ erkennbar); das vorher sehr verrauschte Bild ist etwas besser; weiterhin Bänder mit unterschiedlicher Auflösung und Drift |
| 13 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 3 | 0.27 | Rauschen, kaum Struktur zu erkennen |
| 14 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 3 | 0.21 | Wiederholung der Messung 14, deutlich besseres Bild; auf parallel angeordneten Streifen liegende, punktförmige Erhöhungen, die annähernd gleichseitige Dreiecke bilden, wie es für die Abbildung der Oberfläche von Graphit erwartet wurde. |
| 15 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 0.8 | 0.16 | fast ausschließlich Rauschen zu erkennen |
| 16 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 1.6 | 0.16 | regelmäßig angeordnete Punkte wegen starken Rauschens nur andeutungsweise zu erkennen |
| 17 | ?? | 35 | 256 | 0.8 | 3.2 | 0.27 | nach Veränderung des Regelstromes deutlich schlechtere Bildqualität als bei Versuch 15; Streifen mit starker Störung |



(a)

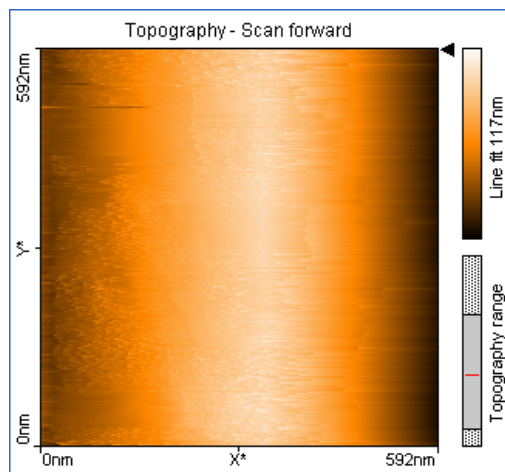


(b)

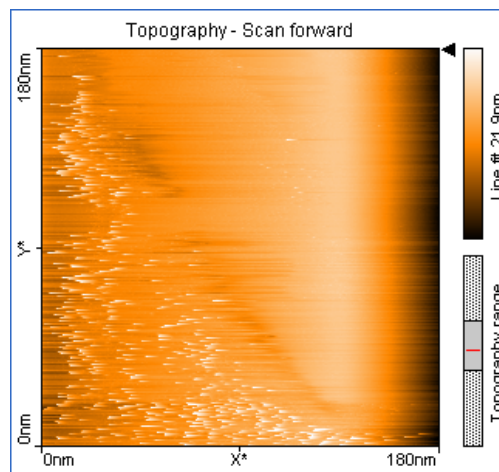


(c)

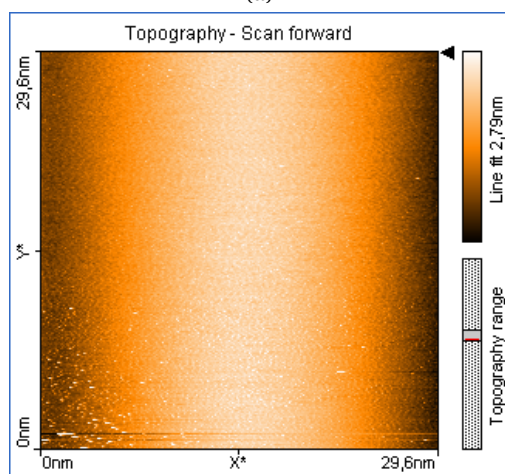
Abbildung 1.1: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 3



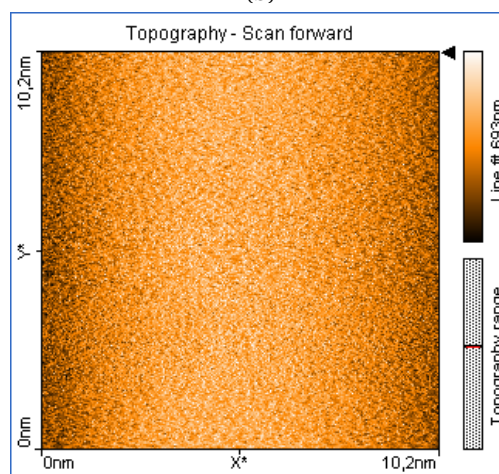
(a)



(b)

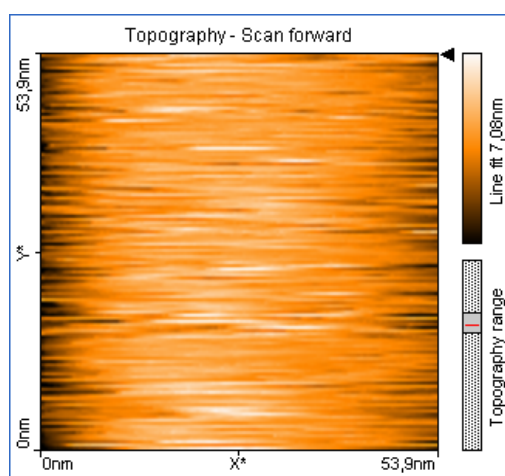


(c)

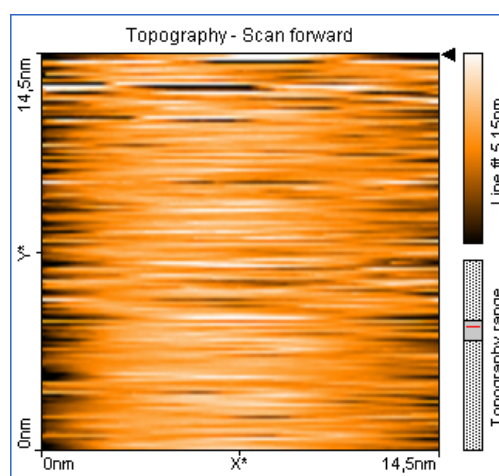


(d)

Abbildung 1.2: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 5

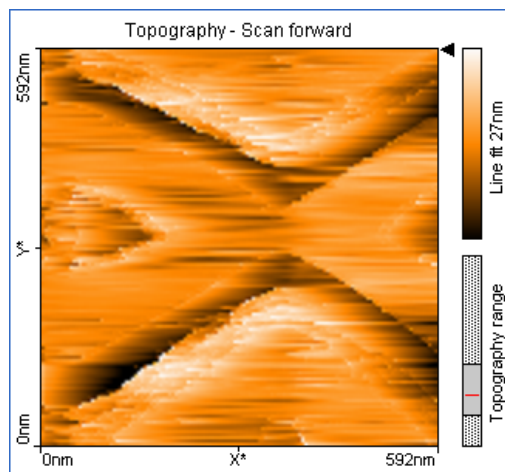


(a)

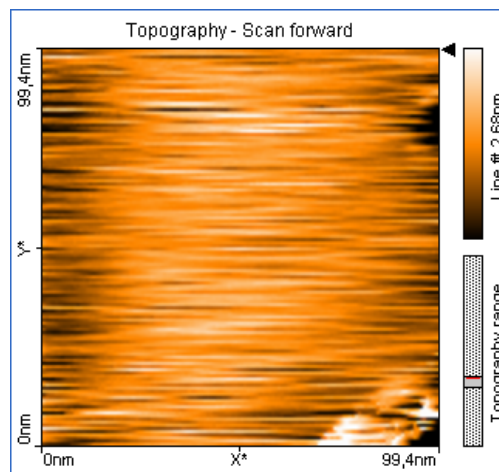


(b)

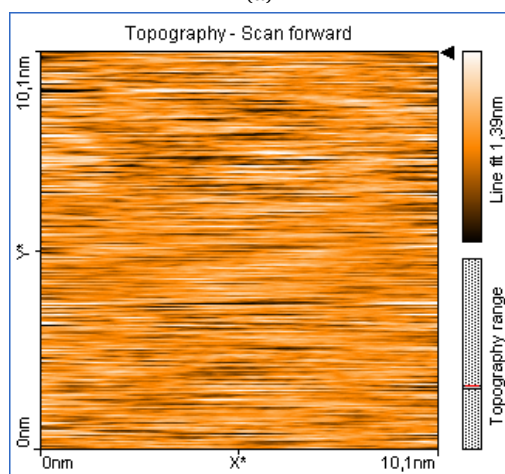
Abbildung 1.3: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 8



(a)

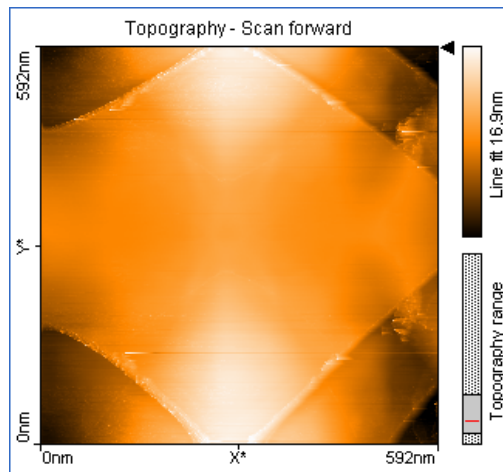


(b)

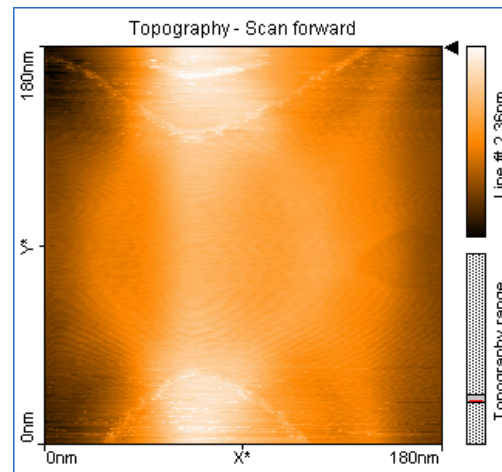


(c)

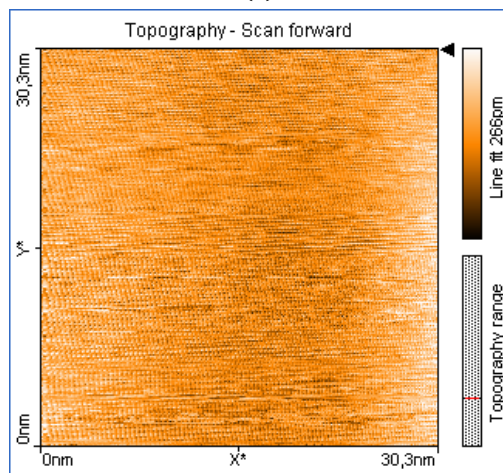
Abbildung 1.4: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 9



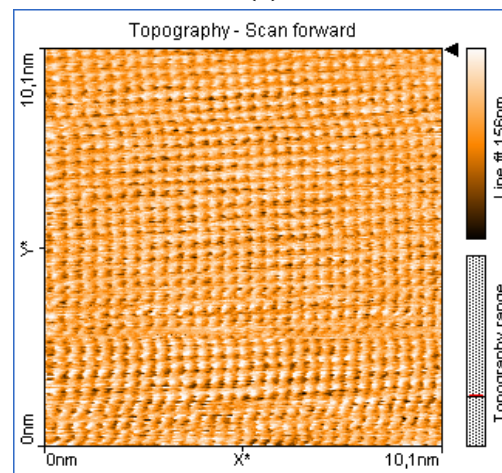
(a)



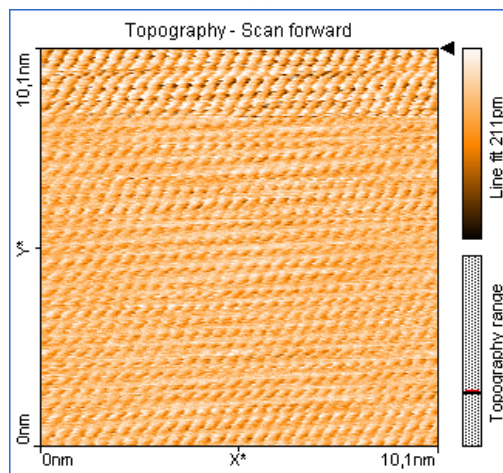
(b)



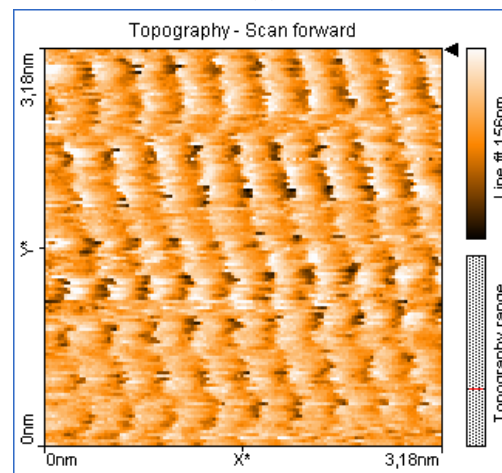
(c)



(d)

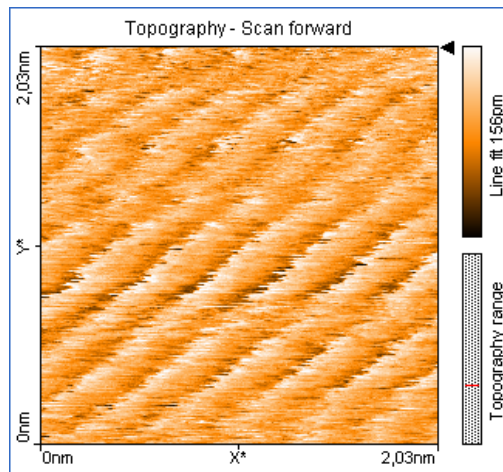


(e)

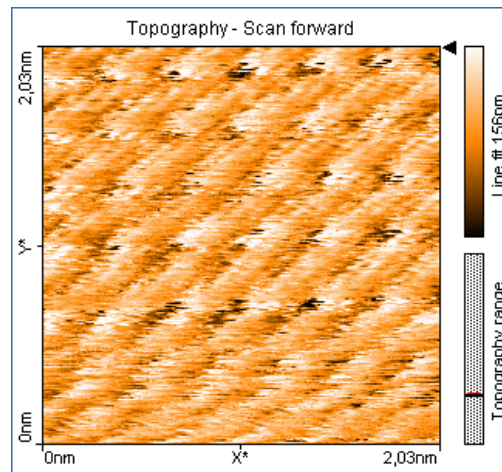


(f)

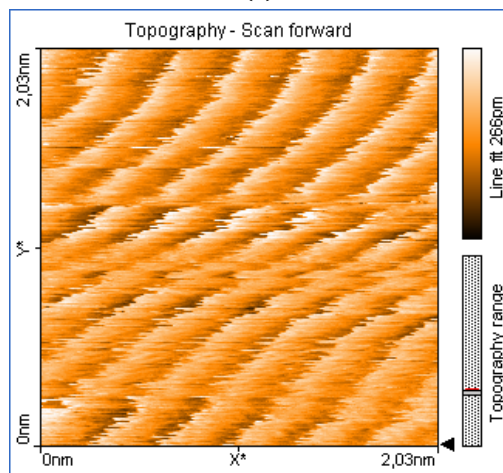
Abbildung 1.5: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 12, Messungen 1 bis 6



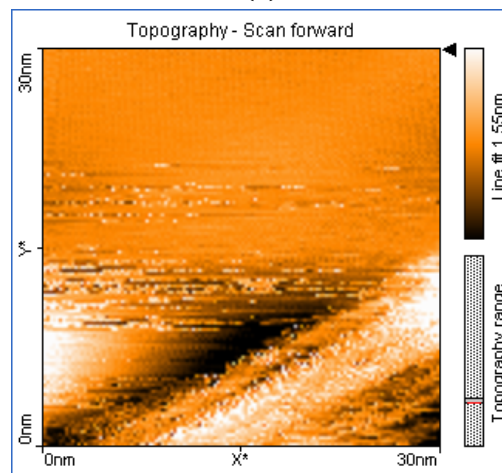
(a)



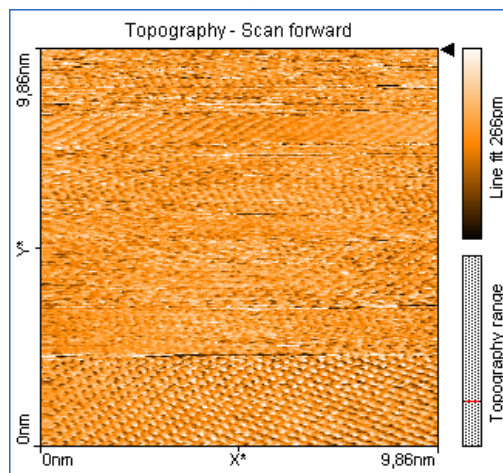
(b)



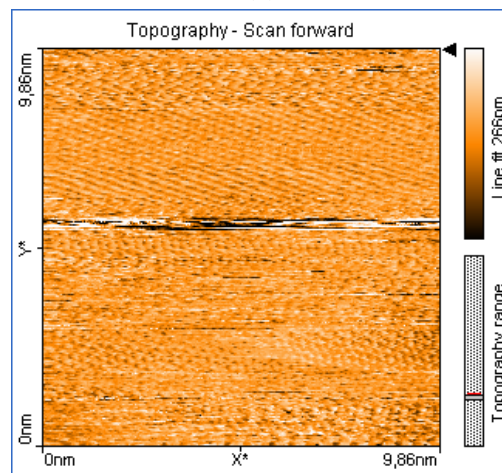
(c)



(d)

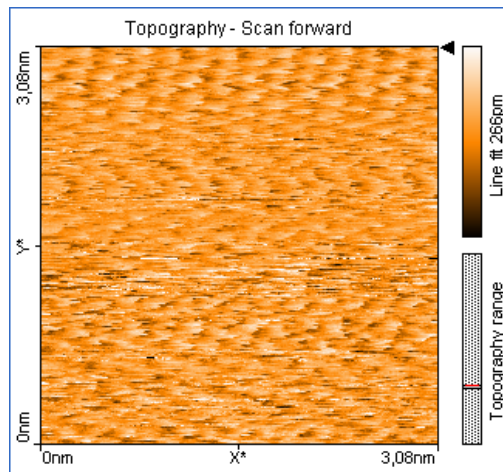


(e)

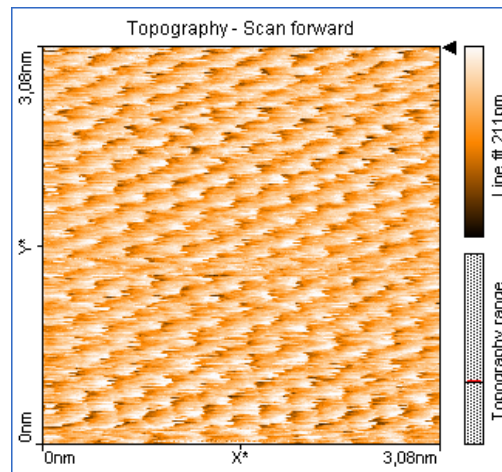


(f)

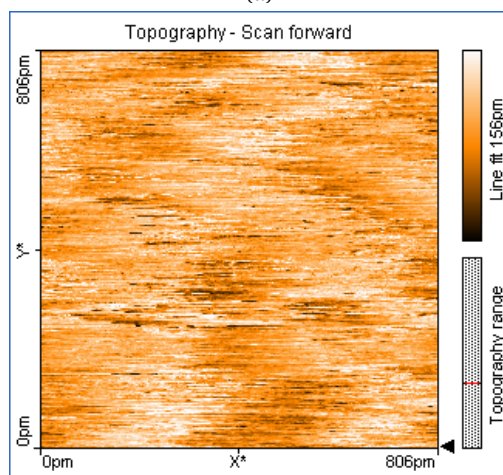
Abbildung 1.6: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 12, Messungen 7 - 12



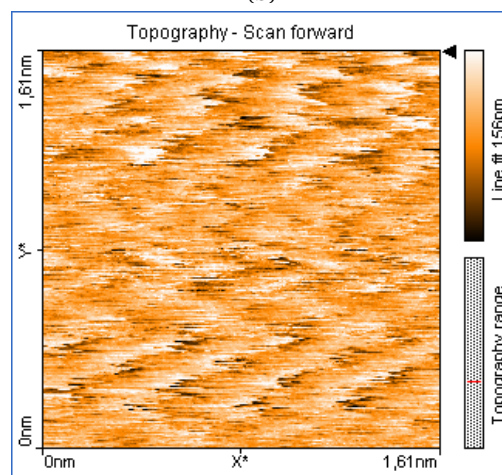
(a)



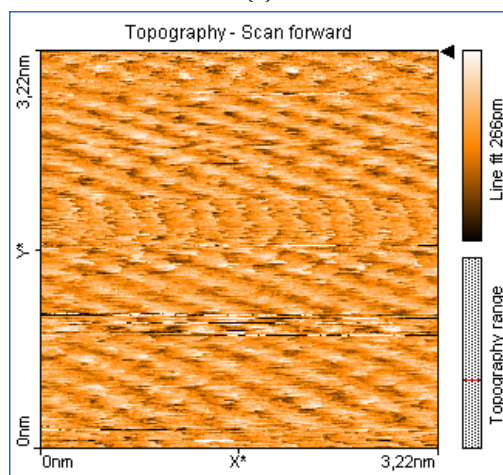
(b)



(c)



(d)



(e)

Abbildung 1.7: STM-Aufnahmen von Graphit, Spitze Nr. 12, Messungen 13 - 17