



FORTGESCHRITTENENPRAKTIKUM

Rastertunnelmikroskopie

Autoren:

[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]

Abstract

In diesem Versuch wurden mit zwei Rastertunnelmikroskopen Aufnahmen von Graphitkristallen sowie Arachinsäure- und Hexabenzocoronene-Molekülkristallen an der Fest/Flüssig-Grenzfläche gemacht. Neben der Darstellung der Kristallstrukturen konnten die Moleküleinheitszellen vermessen und ihre Flächen zu $F_A = (1,24 \pm 0,25) \text{ nm}^2$ bzw. $F_{\text{HBC}} = (12,65 \pm 0,05) \text{ nm}^2$ berechnet werden.

Darüber hinaus wurde die Ausrichtung von Moleküllamellen und Domänengrenzen untersucht. Die Arachinsäure bildet wie theoretisch vorausgesagt Lamellen aus, zu denen sich die Moleküle senkrecht ausrichten. Das HBC liegt in zwei verschiedenen Kristallstrukturen vor, einmal mit einer ein- und einmal mit einer zweiatomigen Kristallbasis.

Versuchsdatum: [REDACTED]

Versuchsplatz: [REDACTED]

Abgabedatum: [REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Rastertunnelmikroskopie	2
1.2	Graphitoberfläche	2
1.3	Arachinsäure und C ₁₂ -Hexabenzocoronen	3
2	Materialien und Methoden	3
2.1	Mikroskope	3
2.2	Tunnelspitzen	4
2.3	Moleküle und Lösungen	4
2.4	Software	4
2.5	Methoden	4
2.5.1	Fouriertransformation und Entzerrung	4
2.5.2	Digitale Bildbearbeitung	5
3	Auswertung und Diskussion	5
3.1	Graphit	5
3.2	Arachinsäure	7
3.3	C ₁₂ -HBC	10
4	Schlussfolgerungen	12

1 Einleitung

1.1 Rastertunnelmikroskopie

Das Rastertunnelmikroskop (RTM) ist ein spezielles Rastersondenmikroskop, mit dem Strukturen in der Größenordnung von einigen Nanometern aufgelöst werden können. Hierbei wird der quantenmechanische Tunneleffekt ausgenutzt, welcher Teilchen erlaubt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit durch Potentialbarrieren zu tunneln, die nach klassischer Theorie nicht überwunden werden können.

Es wird hierzu eine elektrische Spannung zwischen der Spitze des Mikroskops und der leitfähigen Probe angelegt. Ist der Abstand zwischen Spitze und Probe gering genug, können Elektronen hinüber tunneln und somit ein elektrischer Strom gemessen werden. Da dieser Tunnelstrom exponentiell vom Abstand der Spitze von der Probe abhängt, können durch Messung dieses Stroms sehr feine Höhenunterschiede der Probe gemessen werden. Wird nun mit der Spitze über die Oberfläche der Probe gerastert, kann durch Messung des Stroms in Abhängigkeit von der Position der Spitze ein Höhenprofil der Oberfläche erstellt und mit Hilfe eines Computers grafisch dargestellt werden.

Der Abstand der Messspitze zur Probe wird mit Hilfe eines elektronischen Regelkreises geregelt. Dazu wird der gemessene Tunnelstrom ständig mit einem Sollwert verglichen und der Abstand bei Abweichungen entsprechend nachgeregelt. Dies geschieht mit Hilfe von Piezoelementen, wodurch eine sehr feine Einstellung des Abstands zur Probe ermöglicht wird.

Während der Messung können zwei verschiedene Signalkanäle in Abhängigkeit von der Spitzenposition ausgegeben werden. Zum einen die Spannung die der Regler an die Piezoelemente ausgibt (Topographiebild) und zum anderen der gemessene Tunnelstrom (Strombild). In welchem der beiden Kanäle der stärkere Kontrast zu sehen ist, hängt daher im Wesentlichen vom Verhältnis der Rastergeschwindigkeit zur Reglergeschwindigkeit ab. Man unterscheidet daher zwei verschiedene Modi beim Rastern der Probe.

Beim CGM (constant gap width mode) ist die Reglergeschwindigkeit möglichst schnell eingestellt, wodurch der Kontrast vollständig im Topographiekanal liegt. Der Nachteil ist, dass hierbei die Rastergeschwindigkeit durch die Reglergeschwindigkeit limitiert wird, weshalb der Einfluss des Temperaturdrifts besonders stark ist. Beim CHM (constant height mode) hingegen ist die Reglergeschwindigkeit extrem langsam eingestellt, wodurch der Kontrast vollständig im Stromkanal liegt. Dies ermöglicht deutlich höhere Rastergeschwindigkeiten gegenüber dem CGM. Andererseits lässt sich der CHM nur bei flachen Proben und kleinen Rasterbereichen anwenden, da die Spitze sonst mit der Probe kollidieren kann.

1.2 Graphitoberfläche

Um zweidimensionale organische Molekülkristalle mit Hilfe eines Rastertunnelmikroskops untersuchen zu können, werden diese an der Fest/Flüssig-Grenzfläche zwischen der Moleküllösung und einer Graphitoberfläche erzeugt und dann abgebildet. Graphit besteht aus Schichten von Kohlenstoffatomen in hexagonaler Kristallstruktur. Es eignet sich als Adsorbat besonders gut für die Rastertunnelmikroskopie, da es zum einen bei sauberer Präparation eine sehr ebene Oberfläche besitzt und zum anderen elektrisch leitfähig ist. Außerdem sind die Gitterparameter von Graphit durch Röntgenmessungen extrem genau bekannt. Dies ermöglicht es auch die Gitterparameter der Molekülkristalle mit erhöhter Genauigkeit zu bestimmen.

Molekulare Stäbchen packen sich häufig in Lammellen. Stimmt die räumliche Periode der Moleküle in der Lammelle nicht mit der des Graphits überein, so kommt es zu einer Schwebung zwischen Adsorbat- und Substratgitter, dem sogenannten Moiré-Muster. Aus der Moiré-Periode ΔM kann der intralamellare Molekülabstand ΔA mit großer Genauigkeit durch

$$\Delta A = \frac{b(2x+1)}{x} \quad (1)$$

bestimmt werden, wobei $a = 246 \text{ pm}$ die Gitterperiode des Graphitgitters, $b = 1/2\sqrt{3} \cdot a$ der Abstand zwischen parallelen Graphitachsen und x die Anzahl der Alkylketten innerhalb von ΔM ist. Eine graphische Darstellung befindet sich in [1, S. 7-9].

1.3 Arachinsäure und C₁₂-Hexabenzocoronene

Im diesem Versuch sollen die Kristallstrukturen der zweidimensionalen Molekülkristalle von Arachinsäure und C₁₂-Hexabenzocoronene untersucht werden.

Die kommerziell erhältliche Arachinsäure ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{COOH}$) ist eine langkettige Fettsäure, welche in verschiedenen Pflanzenölen vorkommt. Aufgrund ihrer stäbchenförmigen Molekülstruktur ist bei der Kristallbildung zu erwarten, dass die Moleküle sich in Lamellen packen. Die Moleküle sind für diesen Versuch in Phenyloktan gelöst.

Das C₁₂-Hexabenzocoronene (C₁₂-HBC) ist ein polycyclisches aromatisches Kohlenwasserstoff, welches von der AG Prof. Müllen am MPI für Polymerforschung in Mainz stammt. Hexabenzocoronene werden bei der Herstellung von organischen Halbleitern verwendet.

2 Materialien und Methoden

2.1 Mikroskope

Bei der Versuchsdurchführung wurden zwei verschiedene RTMs verwendet. Zuerst wurde mit einem schlechter auflösenden Modell gearbeitet, bei dem das Einsetzen der Tunnelspitzen einfach möglich ist. So konnten schon vor Beginn der eigentlichen Messungen einige Erfahrungen mit dem Anfertigen von guten Spitzen und der grundlegenden Auswertung der Aufnahmen am Computer gesammelt werden.

Dabei wurde auch die Problematik des thermischen Drifts der Aufnahmen deutlich. Durch Ausdehnungen der verwendeten Komponenten, insbesondere der Aufhängung von Tunnelspitze bzw. Probe, wandert die Probe während des Rasterns, was eine klare Aufnahme erschwert. Dies tritt besonders stark bei langsamen Rastergeschwindigkeiten und hohen Rasterweiten zu Tage (siehe 1.1).

Das zweite verwendete RTM von der Firma Zeiss wurde für die eigentlichen Messungen verwendet. Es bietet eine deutlich höhere Auflösung und verfügt über eine mehrbeinige Aufhängung der Tunnelspitze die es ermöglicht, den thermischen Drift der Aufnahmen zu minimieren. Im Gegenzug ist das Einsetzen der Tunnelspitzen deutlich schwieriger. Hinzu kommt, dass bei aufgetragener Moleküllösung die Spitze nicht mehr getauscht werden kann. Aus diesem Grund wurde an jedem Versuchstag für dieses RTM nur eine Spitze geschnitten und dann für alle Messungen verwendet.

2.2 Tunnelspitzen

Die für die Mikroskopie verwendeten Tunnelspitzen bestehen aus sehr dünnem Draht, der mit einem gereinigten Seitenschneider schräg angeschnitten wird. Dabei entsteht eine scharfe Spitze, die dann in die Halterung des RTMs eingesetzt werden kann.

Da der Tunnelstrom exponentiell vom Abstand der Spitze zur Probenoberfläche abhängt, fließt ein Großteil des Stromes tatsächlich durch sogenannte Mikrospitzen, die durch zufällige Molekülanordnungen auf der Tunnelspitze entstehen. Aus diesem Grund musste vor und zwischen den Messungen häufig wie in [1] beschrieben die Spitze mit kurzen Spannungspulsen bearbeitet werden, was zu einer Neustrukturierung der Moleküle und somit anderen und potentiell besseren Mikrospitzen führt.

2.3 Moleküle und Lösungen

Für beide Mikroskope wurde eine Probenunterlage aus Graphit verwendet, die vor dem Versuch frisch 'abgezogen' wurde. Mit dem ersten Mikroskop wurden dann Aufnahmen vom nackten Graphitkristall gemacht.

Für die Untersuchungen mit dem zweiten Mikroskop wurden die unter 1.3 genannten Moleküllösungen vorsichtig auf das Graphit aufgetragen, so dass sich ein Meniskus zwischen Probe und Raster Spitze bilden konnte.

2.4 Software

Zur Auswertung wurde zuerst die Software EasyScan der Firma NanoSurf verwendet, die für das erste, schlechter auflösende Mikroskop zur Verfügung stand. Später erfolgte die Analyse im umfangreicheren SPIP von Image Metrology.

Beide Software-Pakete erlauben es, die aufgenommenen Bilder mit Hilfe von Referenzinformationen über die zugrunde liegenden Strukturen zu entzerren (siehe nächster Abschnitt) und Messungen zu den physikalisch relevanten Kenngrößen (Längen, Winkel) direkt im Bild vorzunehmen.

2.5 Methoden

2.5.1 Fouriertransformation und Entzerrung

Die von einem RTM gemachten Aufnahmen sind in aller Regel verzerrt. Um sinnvolle Messungen durchführen zu können müssen die Bilder deswegen entzerrt und kalibriert werden, wofür in den verwendeten Software-Lösungen diverse Funktionen zur Verfügung stehen.

Die Entzerrung der Bilder geschieht dabei nach folgender Methode: Zuerst wird eine Aufnahme einer bekannten Struktur gemacht, beispielsweise eines Graphitgitters. Das Bild wird daraufhin fouriertransformiert, um die zu den im Bild enthaltenen Gitterhauptachsen gehörigen Frequenzen zu markieren. Die Software kann dann die Abweichung von einem idealen, d.h. verzerrungsfrei aufgenommenen Gitter berechnen.

Im nächsten Schritt wird die Aufnahme zurück transformiert und mit den so bestimmten Parametern im Ortsraum entzerrt. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Korrekturfaktoren für Verzerrungen in der x- und y-Ebene. Sie sind ein Maß für die Abweichung des aufgenommenen vom idealen Gitter.

In der Realität ist es nicht immer möglich, ein bekanntes Gitter (in diesem Versuch meist das Graphit) und das zu untersuchende Molekül im gleichen Bild aufzunehmen. Wenn schnell gearbeitet wird, um den thermischen Drift zu minimieren und die Spitze konstant zu halten, können aber mehrere Aufnahmen in unterschiedlichen Modi an der gleichen Stelle gemacht werden. In diesem Fall lassen sich die Korrekturparameter aus dem einen auch auf die anderen Bilder übertragen.

Tabelle 1: Abschätzung der Genauigkeit der Kalibration. Werte nahe Eins für Cx und Cy bzw. nahe Null für dx/dy bedeuten eine geringe Abweichung der Aufnahme vom idealen Gitter. In diesem Beispiel geben die relativen Fehler die Abweichung zwischen dargestelltem und idealem Graphitgitter an.

	Original	rel. Fehler	Korrektur	rel. Fehler
Cx	0,9345	6,5%	0,9993	0,07%
Cy	1,0605	-6,1%	1,0009	-0,09%
dx/dy	0,1230		0,0015	

Offenbar erlaubt es die Korrektur schon beim ersten Durchgang die relative Abweichung der Aufnahme vom idealen Gitter auf etwa ein Zehntel Prozent zu korrigieren. Generell ist es auch möglich, das entzerrte Bild noch einmal zu entzerren, was bei den hier verwendeten Aufnahmen allerdings nicht nötig war. Der durch die Verzerrung verbliebene Fehler ist hier so gering, dass er in den folgenden Rechnungen vernachlässigt werden konnte.

2.5.2 Digitale Bildbearbeitung

Die verwendeten Software-Pakete bieten noch eine Reihe weiterer Funktionen, um die Bildqualität zu erhöhen. Speziell wurden hier folgende Routinen verwendet: Aufnahmen im Topographiekanal wurden mit Hilfe der 'Plane Correction' von groben Fehlern wie z-Offsets befreit bzw. ebenenkorrigiert. In einzelnen Fällen war es auch sinnvoll, mit einer Auto-Korrelation die abgebildeten Strukturen deutlicher hervorzuheben, um die Navigation im Fourierraum zu vereinfachen.

3 Auswertung und Diskussion

3.1 Graphit

Zuerst wurden einige Testaufnahmen vom puren Graphitgitter gemacht, wobei das erste, schlechter auflösende Mikroskop verwendet wurde. In Abbildung 1 ist ein Beispiel einer Aufnahme im Stromkanal zu sehen. Hier wurde der CHM genutzt, also niedrige Regler- und hohe Rastergeschwindigkeit.

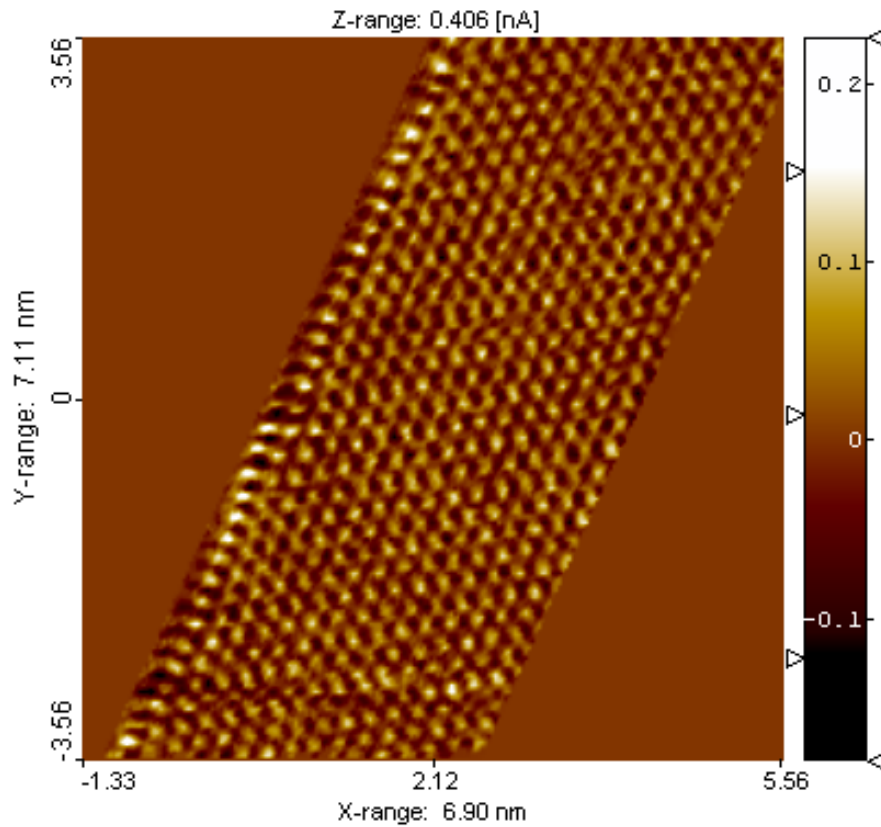


Abbildung 1: Graphitgitter im Stromkanal mit STM EasyScan Mikroskop aufgenommen.

Abbildung 2 hingegen zeigt das Graphitgitter im Topographiekanal. Hier wurde also die CGM verwendet mit hoher Regler- aber niedriger Rastergeschwindigkeit.

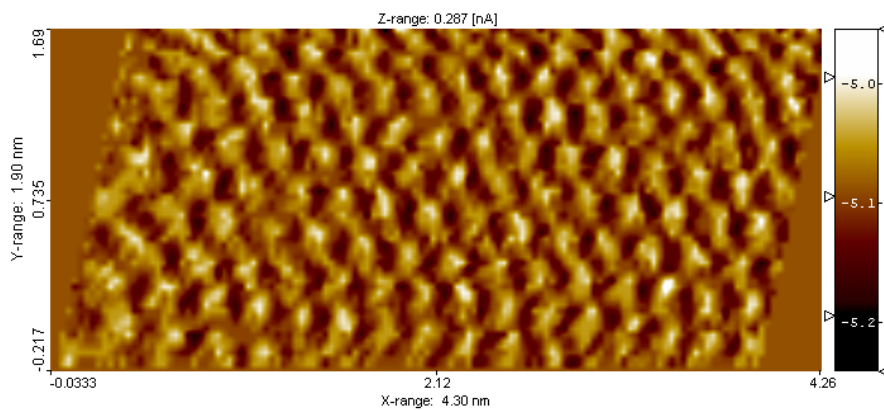


Abbildung 2: Graphitgitter im Topographiekanal (Ausschnitt) mit STM EasyScan Mikroskop aufgenommen.

Offenbar lässt sich die hexagonale Struktur des Graphitgitters nicht erkennen. Der Grund hierfür liegt in der Funktionsweise des RTM, das nur Elektronenverteilungen sichtbar machen kann. Das Graphit liegt in Schichten übereinander, wobei die Kohlenstoffringe der

obersten Schicht derart über denen der nächsten Schicht angeordnet sind, dass die oberen Atome abwechselnd über Atomen und Leerräumen der unteren Ringe liegen. Hierdurch variiert die 'Leitfähigkeit' der Atome je nach ihrem Gitterplatz, was sich durch unterschiedliche Helligkeiten im RTM-Bild ausdrückt. Eine graphische Abbildung des Graphitkristalls findet sich in [2, S. 33].

Zusätzlich wurden noch weitere Tests durchgeführt. Erhöht man bei konstanter Reglergeschwindigkeit die Rastergeschwindigkeit des Mikroskops, so verringert sich wie erwartet der Kontrast im Topographiekanal, da die Tunnelspitze der Probenoberfläche in z-Richtung nicht mehr schnell genug folgen kann. Die Rastergeschwindigkeit hat keine Auswirkungen auf die Darstellung im Stromkanal, da hier keine mechanische Bewegung ausgewertet wird.

3.2 Arachinsäure

Für die Betrachtung der Arachinsäure wurde nun das zweite, höherauflösende RTM verwendet. Nachdem durch Pulsen mit kurzen Spannungstößen eine gute Mikrospitze ausgebildet wurde, konnte die Abbildung 3 aufgenommen werden. Hier erkennt man deutlich die stäbchenartige Form der Arachinsäuremoleküle, die sich wie erwartet in Lamellen anordnen.

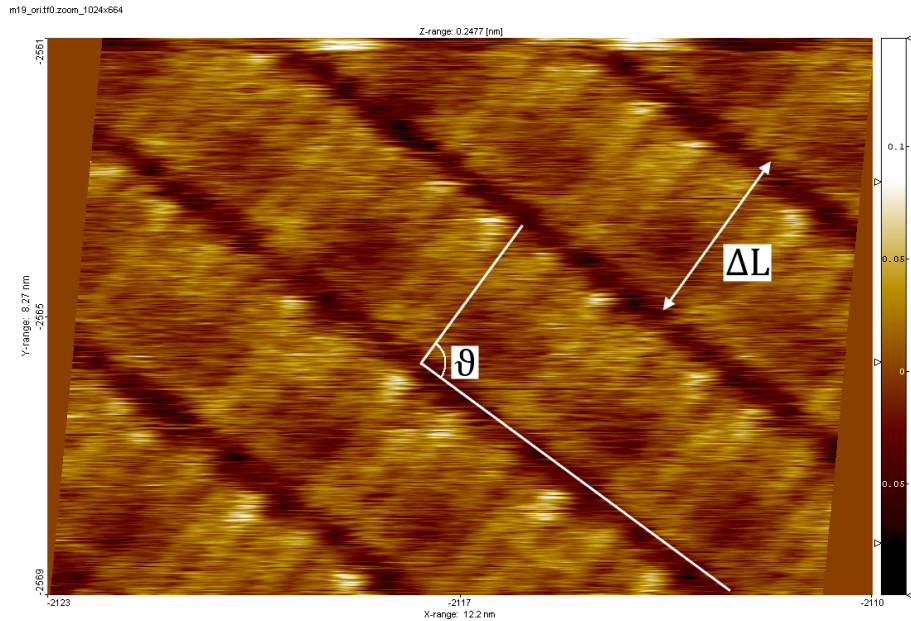


Abbildung 3: Lamellen von Arachinsäure im Topographiekanal. Messung der Lamellenbreite ΔL und Lamellenwinkel $\vartheta = (90,1 \pm 2,0)^\circ$ zwischen L und C.

Nun wurden der Lamellenwinkel ϑ bestimmt, sowie die Lamellenbreite ΔL ausgemessen. Der Lamellenwinkel wurde mit Hilfe der SPIP Software optisch vermessen, der dabei entstehende Fehler wurde hier mit etwa 2° nach oben abgeschätzt. Die Messung der Lamellenbreite wurde $n = 11$ mal an verschiedenen Stellen des Bildes durchgeführt, um einen Mittelwert mit Standardabweichung zu berechnen. Die Größen ergeben sich so zu:

$$\begin{aligned}\vartheta &= (90 \pm 2)^\circ \\ \Delta L &= (2,65 \pm 0,03) \text{ nm}\end{aligned}$$

Offenbar ordnen sich die Moleküle senkrecht zur Lamellenachse an.

Außerdem wurden Bilder in einer größeren Rasterweite aufgenommen. Deutlich sind die in Abschnitt 1.2 angesprochenen Moiré-Muster zu erkennen (Abbildung 4).

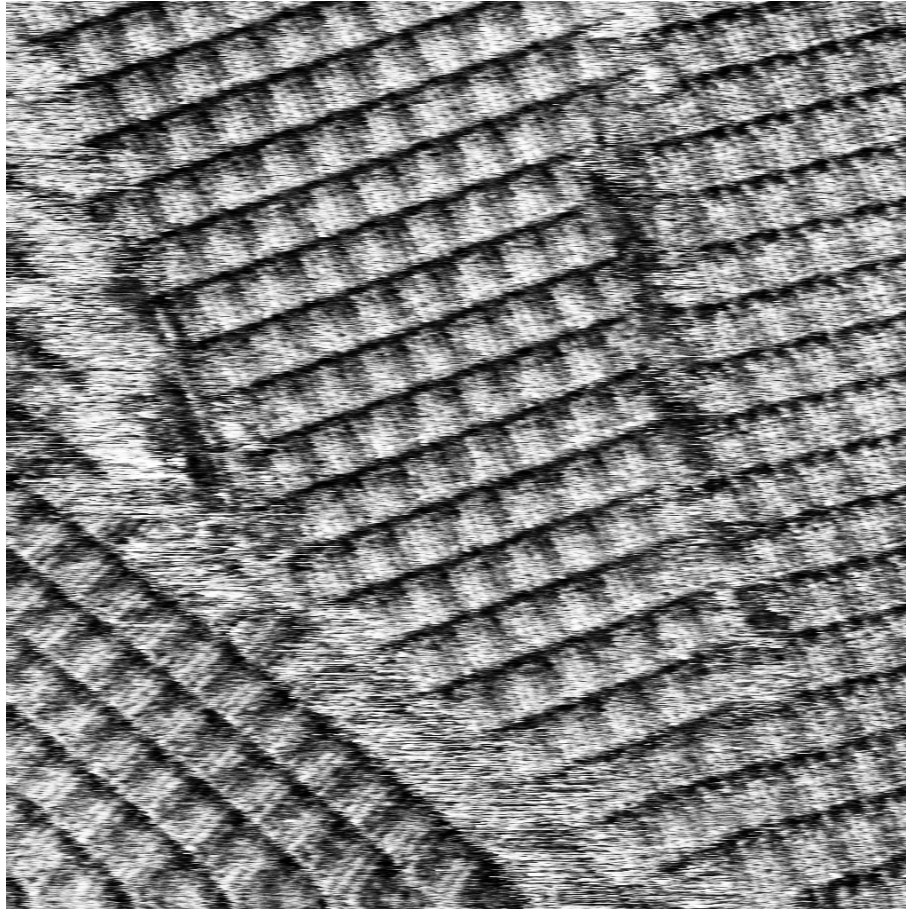


Abbildung 4: Lamellen von Arachinsäure im Topographiekanal mit sichtbaren Moiré-Mustern und Domänengrenzen. Die Abbildung ist nicht entzerrt.

Um nun den intralamellaren Molekülabstand ΔA bestimmen zu können, muss nach Formel (1) die Anzahl der Alkylketten x innerhalb einer Moiré-Periode ΔM gezählt werden (siehe auch Abbildung 5 in [1]). Aufgrund der begrenzten Auflösung des Bildes ist das manuelle Auszählen trotz eigentlich diskreter Werte fehlerbehaftet. Aus diesem Grund wurden in Abbildung 4 insgesamt $n = 11$ verschiedene Zählungen durchgeführt. Dabei wurden jeweils möglichst viele Moiré-Perioden gleichzeitig betrachtet, um den Fehler zu minimieren. Anschließend wurde der Mittelwert und die Standardabweichung von x berechnet:

$$x = 5,2 \pm 0,2$$

Vermutlich liegen innerhalb einer Moiré-Periode jeweils fünf Alkylketten vor. Da aber leichte Variationen nicht auszuschließen sind, wird mit dem obigen Wert und seiner Unsicherheit weiter gerechnet. Das Ergebnis wird in Formel (1) eingesetzt, um ΔA zu berechnen. Der zugehörige Fehler ergibt sich dann nach gaußscher Fehlerfortpflanzung. Die Gitterparameter a und b des Graphits werden dabei als fehlerfrei angenommen.

$$\Delta A = (0,467 \pm 0,002) \text{ nm}$$

Im nächsten Schritt soll die Fläche F_A der Einheitszelle berechnet werden. Hierzu wurde die Formel für den Flächeninhalt eines Parallelogramms verwendet, wobei ΔA und ΔL die Höhen des Parallelogramms sind. Es folgt mit gaußscher Fehlerfortpflanzung:

$$F_A = \frac{\Delta A \cdot \Delta L}{\sin \vartheta} = (1,24 \pm 0,29) \text{ nm}^2 \quad (2)$$

Letztlich wird noch die Ausrichtung der Moleküle zum darunterliegenden Graphitgitter untersucht. Dazu wird im CHM das Graphitgitter abgebildet, die Abbildung einer Fast Fourier Transformation unterzogen und im Fourierraum die den Hauptachsen zugehörigen Frequenzen bestimmt. Mit Hilfe der SPIP Software ist es möglich aus diesen Frequenzen eine Ortsdarstellung der Hauptachsen des Graphitgitters zu gewinnen. Direkt im Anschluss wird das Molekülgitter im CGM aufgenommen. Jetzt kann über das Topographiebild der Arachinsäure die Ausrichtung des darunterliegenden Gitters der Graphitmoleküle gezeichnet werden (Abb. 5).

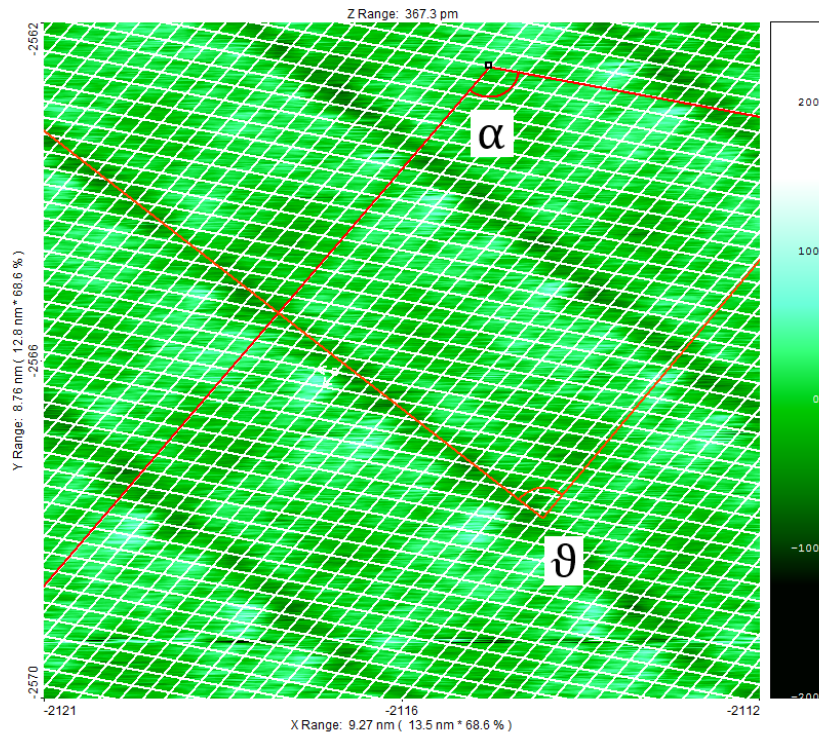


Abbildung 5: Lamellen von Arachinsäure im Topographiekanal. $\alpha = 120^\circ$ bezeichnet den Winkel zwischen den Graphithauptachsen, $\vartheta = (90 \pm 2)^\circ$ ist der Lamellenwinkel, der gleichzeitig auch die Orthogonalität von Lamellenachse und Graphithauptachse anzeigt.

Es wird sichtbar, dass sich die Moleküle im Rahmen der Messgenauigkeit an einer der Hauptachsen des Graphitkristalls anordnen bzw. die Lamellenachse senkrecht auf einer Graphithauptachse steht.

In der Abbildung 4 können auch Domänengrenzen beobachtet werden. Diese verlaufen zum einen entlang der Lamellenachsen (links unten im Bild) bzw. entlang der Molekülausrichtung (links oben im Bild). Die Domänengrenzen scheinen räumlich und zeitlich stabil zu liegen.

Der 'verwaschene' Bereich zwischen den beiden Domänen in der Mitte und unten links des Bildes deutet darauf hin, dass es eine Interphase zwischen den Domänen gibt, in der die Lage der einzelnen Moleküle zeitlich nicht stabil ist und deswegen vom RTM nicht scharf abgebildet wird.

Leider konnte die Abbildung 4 nicht entzerrt werden, da es im Fourierraum nicht möglich war, die Frequenzen des Graphitgitters eindeutig zu identifizieren. Demnach können hier keine genauen Winkelmessungen vollzogen werden. Aus den obigen Betrachtungen scheint es wahrscheinlich, dass die Domänen zueinander um 120° verdreht sind, was die Abbildung auch andeutet. Aus diesem Grund ist auch davon auszugehen, dass es sich bei der 'Grenze' auf der rechten Bildseite nicht um eine Domänengrenze handelt, sondern um einen lokalen Defekt der Oberfläche, da der Winkel zwischen den beiden Bereichen sehr klein ist.

3.3 C₁₂-HBC

Im zweiten Versuchsteil wurde C₁₂-HBC untersucht. Dazu wurden zuerst das Graphit- und das HBC-Gitter bei gleicher Rasterweite und Rotation aufgenommen. Prinzipiell ist es möglich, bei passender Wahl der Tunnelspannungen beide Gitter in einem einzigen Bild darzustellen. Leider ist dies am Versuchstag nicht gelungen. Trotzdem konnte mit Hilfe einer CHM-Messung das Graphitgitter einzeln aufgenommen und damit das Molekülgitter im Topographiekanal entzerrt werden (Abbildung 6).

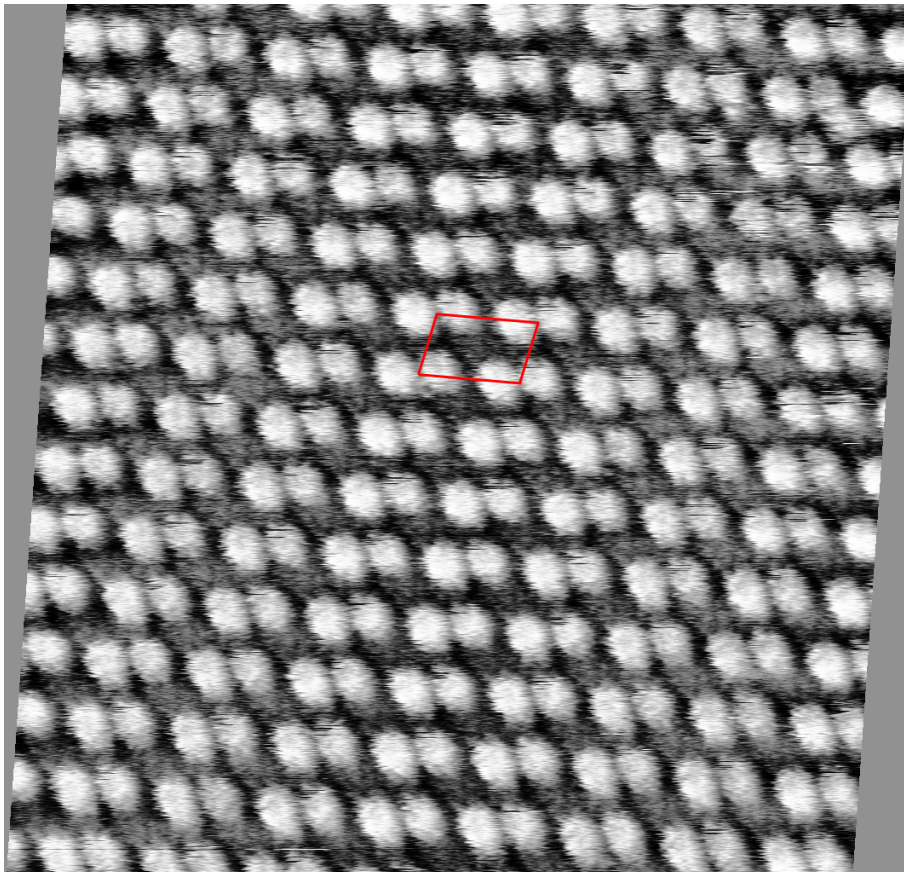


Abbildung 6: Entzerrtes HBC-Kristallgitter im Topographiekanal mit eingezeichneter Einheitszelle.

Das so erhaltene entzerrte Molekülgitter wurde erneut einer FFT unterzogen. Damit kann-

ten im Frequenzraum die Längen der Vektoren \vec{a} und \vec{b} der Einheitszelle des Molekülgitters und der dazugehörige Winkel $\varphi = \angle(\vec{a}, \vec{b})$ bestimmt werden. Dieser Arbeitsschritt wurde zwei Mal separat durchgeführt, um eine Abschätzung für die Unsicherheit der einzelnen Werte zu bekommen.

$$\begin{aligned} a &= (2,844 \pm 0,01) \text{ nm} \\ b &= (4,524 \pm 0,01) \text{ nm} \\ \varphi &= (79,6 \pm 0,1)^\circ \end{aligned}$$

Diese Werte repräsentieren die entzernte Einheitszelle des Molekülgitters. Mit Hilfe der Flächenberechnung eines Parallelogramms kann daraus wieder die Fläche der Einheitszelle bestimmt werden. Mit gaußscher Fehlerfortpflanzung ergibt sich:

$$F_{\text{HBC}} = a b \sin \varphi = (12,65 \pm 0,05) \text{ nm}^2 \quad (3)$$

Nun konnte ein größerer Ausschnitt gerastert werden. Dieser wurde mit Hilfe der oben gewonnenen Parameter der Einheitszelle entzernt (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Entzerntes HBC-Kristallgitter im Topographiekanal mit sichtbaren Domänengrenzen und verschiedenen Kristallstrukturen.

In diesem Ausschnitt sind mehrere Charakteristika des HBC-Gitters evident: Zum einen kann das Molekülgitter in zwei verschiedenen Kristallstrukturen vorliegen. In der Mitte

des Bildes lässt sich die schon aus Abbildung 6 bekannte Struktur erkennen, oben rechts wird eine andere Struktur sichtbar. Im ersten Fall besteht die Gitterbasis aus zwei Atomen, im zweiten aus nur jeweils einem Atom.

Zum anderen sind die Domänengrenzen zwischen den verschiedenen Gitterstrukturen deutlich sichtbar. Sie sind also offenbar stabil und es liegt keine Interphase vor, da die Grenzverläufe klar abgebildet werden können. Oben mittig verläuft die Domänengrenze entlang einer der Hauptachsen der Gitterstruktur mit zweiatomiger Basis. Die zweite, diagonale durch das Bild verlaufende Domänengrenze scheint direkt aus der Abwesenheit einer Interphase zu resultieren: hier grenzen die beiden Kristallstrukturen direkt aneinander an und es gibt folglich einzelne Atome, die Teil beider Strukturen sind. Dort verläuft die Domänengrenze entlang der Diagonalen des Parallelogramms der Einheitszelle vom Gitter mit zweiatomiger Basis.

4 Schlussfolgerungen

In diesem Versuch ist es gelungen, eine glatte Graphitoberfläche herzustellen, einige Tunnelspitzen zu schneiden und mit Hilfe eines RTMs die Graphitoberfläche abzubilden. Später konnten auch eine Lösung von Arachinsäure und eine Lösung mit HBC unter einem RTM untersucht werden. Dabei wurden Kristallbildungen an der Fest/Flüssig-Grenzfläche zum Graphit beobachtet. Insbesondere konnte die bekannte Struktur des Graphits genutzt werden, um die Bilder der Moleküle zu entzerren und dann verschiedene Parameter der Molekülkristalle quantitativ zu bestimmen.

Aus Ermangelung an Vergleichsdaten konnte die Güte der Versuchsergebnisse nicht festgestellt werden. Alle beobachteten Phänomene scheinen aber physikalisch plausibel erklärbar zu sein.

Literatur

- [1] Wolf, J. F. *Rastertunnelmikroskopie an 2D-Molekülkristallen an der Fest/Flüssig-Grenzfläche*. Humboldt-Universität zu Berlin, Version 2.0, März 2000.
- [2] Nanosurf AG. *easyScan STM System Einführung*. Liestal, Schweiz, 1998.