

ulm university universität **UUUM**

Fortgeschrittenenpraktikum der Physik Rasterkraftmikroskopie

Versuch 29

Oliver Heinrich

Tobias Meisch

<oliver.heinrich@uni-ulm.de>

<tobias.meisch@uni-ulm.de>

Gruppe: 717

Versuchstag: 03. Juli.2008

Abgabe: 14. Juli 2008

Betreuer: Michael Holzwarth

Inhaltsverzeichnis

T	Theoretische Grundlagen								
	1.1	Einleitung	3						
	1.2	Aufbau des Mikroskops	3						
	1.3	Arten des Mikroskops	4						
		1.3.1 Contact-Mode	4						
		1.3.2 Non-contact-mode	5						
		1.3.3 Intermittent-mode	5						
	1.4	Kraft-Distanz-Kurven	6						
	1.5	Abbildungsfehler durch Piezokristalle	7						
2	Ver	suchsaufbau	8						
3	Ver	suchsauswertung	8						
	3.1	Verworgliche							
			8						
		3.1.1 Regler einstellen	8 8						
		3.1.1 Regler einstellen 3.1.2 Rastergeschwindigkeit einstellen	8 8 10						
	3.2	3.1.1 Regler einstellen							
	3.2 3.3	3.1.1 Regler einstellen 3.1.2 Rastergeschwindigkeit einstellen Datenspeicher I Datenspeicher I							
	$3.2 \\ 3.3 \\ 3.4$	3.1.1 Regler einstellen 3.1.2 Rastergeschwindigkeit einstellen Datenspeicher I Datenspeicher II Polymer Datenspeicher II	8 8 10 12 16 20						
	$3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \\ 3.5$	3.1.1 Regler einstellen 3.1.2 Rastergeschwindigkeit einstellen Datenspeicher I Datenspeicher II Polymer Datenspeicher III							

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Einleitung

Das Rasterkraftmikroskop, auch AFM (atomic force microscope) genannt, wurde 1986 von Gerd Binnig, Calvin Quate und Christoph Gerber entwickelt. Mit Hilfe eines solchen können leicht sehr genaue Aufnahmen mit einer Auflösung im Nanometerbereich gemacht werden. Im Folgenden wird sowohl das AFM, als auch der Versuch samt Auswertung der Messungen beschrieben.

1.2 Aufbau des Mikroskops

Das Rasterkraftmikroskop rastert (engl.: scan) mit einer Sondenspitze die Oberfläche einer Probe ab. Deshalb gehört es, wie zum Beispiel auch das Rastertunnelmikroskop, zu den Rastersondenmikroskopen.

Das AFM besteht aus einer Blattfeder (engl.: cantilever), an der eine nach unten gerichtete Messspitze angebracht ist. Rastert die Spitze über die Probe (engl.: sample), so verbiegt sich die Blattfeder abhängig von der Oberflächenstruktur der Probe. Auf den Cantilever ist ein Laser gerichtet, dessen Reflex auf eine viergeteilte Photodiode trifft. Die Verbiegung wird nun an dieser über einen Photostrom ermittelt. Die Viertelung ist dazu da, um auch Verkippungen registrieren zu können. Diese treten auf, weil der Cantilever üblicherweise senkrecht zu seiner Längsrichtung rastert und deswegen auch Querkräfte wirken. Um möglichst viele Bildpunkte aufzeichnen zu können, muss die Rastergeschwindigkeit sehr klein sein. Das wird häufig durch Piezokristalle verwirklicht. Diese verformen sich, wenn man Spannungen an sie anlegt. Bei unserer Messapparatur erfolgt die Bewegung durch Tauchspulen. Das sind von einem Magnetfeld umgebene Spulen, die sich bei Stromdurchfluss durch die Lorentzkraft bewegen. Der Nachteil einer solchen Tauchspule ist, dass ständig Spannung angelegt sein muss.

Gebräuchliche Maße von Cantilevern sind eine Länge von 100-400 µm, eine Breite von 10-80 µm und eine Dicke von etwa 0,5-3 µm. Die Spitze ist ungefähr 2-25 µm lang. Obwohl man versucht, die Spitze möglichst spitz zu bauen, ist sie ganz unten trotzdem halbrund. Der Durchmesser der Halbkugel ist typischerweise zwischen 10 und 20 nm groß. Dieser Diameter begrenzt das Auflösungsvermögen. Je größer die Spitze ist, desto mehr Atome der Probe wechselwirken gleichzeitig mit der Spitze.

Weiter sind jetzt die Kräfte der Wechselwirkung der Probe mit der Spitze wichtig. Die Wechselwirkungen werden durch das Lennard-Jones-Potential (Abbildung 1) ganz gut beschrieben.



Abbildung 1: Das Lennard-Jones-Potential (aus [hmi])

Bei den anziehenden (attraktiven) Kräften handelt es sich um Van-der-Waals-Kräfte. Die abstoßenden (repulsiven) Kräfte beruhen auf der Pauli-Repulsion.

1.3 Arten des Mikroskops

Es werden, je nach Abstand der Messsonde zur Probe, zwei Betriebsmodi unterschieden. Berührt die Spitze die Probe, nennt man es *Contact-Mode*, ist ein Abstand zwischen ihnen, spricht man vom *Non-Contact-Mode*.

1.3.1 Contact-Mode

Bei dem Berührmodus unterscheidet man noch einmal:

Constant-height-mode Bei der Messung mit diesem Modus bleibt die Höhe der Befestigung des Cantilevers konstant. Da die Probe Unebenheiten hat, bewegt sich der Cantilever samt Spitze auf und ab. Die Topographie der Probe bekommt man über den Photostrom an der Diode. Dieser Modus bedarf keiner Regelung. Deshalb kann eine recht hohe Rastergeschwindigkeit erreicht werden. Der Nachteil dieser Methode ist, dass durch die starken repulsiven Kräfte die Probe und die Spitze stark beansprucht werden. Man kann sie also nur bei harten und glatten Proben anwenden.

Constant-force-mode Bei dieser Methode soll während der ganzen Messung die Kraft auf den Cantilever gleich bleiben. Das wird erreicht, indem die Höhe geregelt wird. Der hohe Regelaufwand bedingt, dass nur langsame Scangeschwindigkeiten erreicht werden können. Die Beschaffenheit der Oberfläche bekommt man über die Höhe des Cantilevers. Vorteilhaft ist, dass bei diesem Modus die Oberfläche nicht so sehr beansprucht wird.

1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

1.3.2 Non-contact-mode

Beim Non-contact-mode, einem dynamischen Anregungsmodus, wird die Blattfeder in Resonanz versetzt. Über eine Rückkopplung wird die Anregung so geregelt, dass das System immer nahe der Resonanzfrequenz schwingt. Durch Kräfte zwischen der Probe und der Messsonde ändert sich die Resonanzfrequenz. Durch die Frequenzverschiebung können Aussagen über die Topographie der Probe gemessen werden.

1.3.3 Intermittent-mode

Der intermittierende Modus, den der Hersteller 'Digital Instruments' tapping mode nennt, ist ein dynamischer Anregungsmodus. Der Cantilever wird in Schwingung nahe der Resonanzfrequenz (20-400 kHz) versetzt. Die wechselwirkenden Kräfte zwischen der Messspitze und der Oberfläche verändern die Frequenz und damit die Amplitude des schwingenden Cantilevers. Durch Bestimmen der Amplitude kann auf die Oberflächenbeschaffenheit zurück geschlossen werden. Die Spitze schwingt nahe an der Probe, berührt aber nur einmal pro Schwingungsperiode die Probe (engl. to tap = schlagen). Deshalb ist diese Methode sehr schonend für die Probe. Der Intermittierende Modus ist eine Mischung aus dem Contact- und Non-contact-mode.

Pulsed-force-mode Mit dieser in Ulm entwickelten Methode können außer der Topographie auch noch die Steifheit sowie Adhäsionskräfte gemessen werden.



Abbildung 2: Pulsed-force-mode aus [Nan]

Der Cantilever wird in eine sinusförmige Schwingung unterhalb seiner Resonanzfrequenz versetzt, die in der Abbildung 2 durch die gestrichelte Linie dargestellt ist. Die Kraft auf die Spitze wird beim Auftreffen auf die Probe konstant gehalten. Die durchgezogene Linie in oben stehendem Diagramm nennt man Kraft-Distanz-Kurve. Die gerade baseline ergibt sich, wenn die Spitze noch weit von der Probe entfernt ist. Dann ist die Kraft auf sie noch konstant. Durch Annähern an die Probe schnappt die Spitze auf die Probe (snap in). Durch weiteres Annähern erhöhen sich nach dem Lennard-Jones-Potential die repulsiven Kräfte. Am adhesion peak reißt die Spitze von der Probe ab. Der Cantilever führt eine freie gedämpfte Schwingung aus, bis zum nächsten snap-in. Dort beginnt es wieder von vorne. Geregelt wird auf die maximale Kraft, durch Anpassung der Cantileverhöhe. Die Oberflächenstruktur erhält man dann aus der Höhenänderung des Cantilevers. Die Steigung (Linear Fitted Slope) enthält die Steifheit der Probe und der vertikale Abstand zwischen der Baseline und der Stelle des Abreißens der Probe (adhesion peak) stellt die Adhäsionskraft dar.

1.4 Kraft-Distanz-Kurven

Im Gegensatz zur Kraft-Distanz-Kurve aus Paragraph 1.3.3, die beim Rastern über die Probe entsteht, werden die nachfolgend beschriebenen an einem Punkt aufgezeichnet. Man hält also die Spitze über einen Ort der Probe und verändert die Höhe. Abbildung 3 zeigt zwei Kraft-Abstands-Kurven.



Abbildung 3: Kraft-Distanz-Kurve aus [wik]

Geschickterweise liest man ein solches Diagramm von rechts nach links.

Im Schaubild 3a) wird der Idealfall einer elastischen Probe dargestellt. Der rechte Teil des Diagramms zeigt eine konstante Gerade. Das bedeutet, dass die Kraft auf den Cantilever in großem Abstand zur Probe konstant ist. Nach Annäherung findet ein Anschnappen an die Probe statt. Dieses wird durch die Van-der-Waals-Kraft verursacht. Drückt man die Spitze weiter in die Probe, so steigt die Kraft linear an. Bewegt man die Spitze wieder von der Probe weg, so folgt die Kurve dem gleichen Weg. Die Spitze bleibt aufgrund der attraktiven Adhäsionskraft an der Probe haften, bis die Federkraft des Cantilevers die Adhäsion übersteigt. Danach springt der Cantilever in seine Ruhelage.

Das Diagramm 3b) zeigt keine Linearität beim Kraftanstieg. Deshalb muss die Probe sich während dem Eindrücken verhärtet haben. Außerdem sind Anund Abstieg nicht mehr deckungsgleich. Die Hysteresefläche zwischen beiden Kurven entspricht der beim Eindrücken verrichtete Arbeit.

1.5 Abbildungsfehler durch Piezokristalle

Obwohl unser Mikroskop keinen Piezokristall enthält, werden hier trotzdem kurz verschiedene Probleme aufgelistet, die solche Kristalle verursachen. Um die Fehler zu minimieren, muss das Mikroskop vor der Messung kalibriert werden.

Hysterese Piezokristalle zeigen eine Hysterese. Das bedeutet, ihre Verformung verschwindet nicht komplett, obwohl keine Spannung mehr anliegt.

Keine Linearität Die Verformung vieler Piezokristalle ist nicht linear zu der angelegten Spannung.

Alterungsprozess Piezokristalle "altern", das heißt, dass bei seltenem Gebrauch die Verformung erst nach kurzer Zeit einsetzt. Sie reagieren auf eine angelegte Spannung träge.

2 Versuchsaufbau

Wir haben ein Rastermikroskop zur Verfügung gestellt bekommen, mit dem wir im contact-Mode unsere Probe abtasten können. Dazu schoben wir die zu untersuchende Probe unter dieses. Über eine Linse konnten wir unser Cantilever vergrößert von oben und mit einer anderen Linse ebenfalls vergrößert aber von der Seite betrachten. Mit dieser zweiten stellten wir auch den Abstand Cantilever - Probe mit dem Auge grob ein. Dazu betrachteten wir die Nadel und deren Spiegelbild. Je näher wir der Probe kamen, umso kleiner wurde auch der Abstand zwischen der Nadel und deren Bild.

Nun machten wir uns mit der nötigen Software (*Nanosurf easyScan e-line*) vertraut. Diese bestand aus hauptsächlich drei großen Fenstern. Im ersten sah man die aktuelle Auslenkung der Nadel. Im mittleren baute sich Zeile für Zeile das Bild auf und im rechten sah man, wie stark der PI-Regler zu regeln hatte.

Als erstes interessierte uns aber der Button "Approach", der die Feinstellung für den Abstand Probe-Cantilever übernahm. Nach ein paar Sekunden war auch dies erledigt und wir konnten uns den restlichen Feinstellungen der Software widmen.

Zuerst wollten wir sicherstellen, dass die Probe auch einigermaßen parallel zum Cantilever liegt. Diverse Feinkorrekuren konnten wir hier an dieser Software einstellen. Als nächstes suchten wir die beste Einstellung des PI-Reglers. Dieser konnte man von 1 bis 20 (die genaue Bedeutung der Werte war unwichtig) einstellen. Je kleiner der Wert, umso langsamer regelte auch dieser auf die Differenz zum Sollwert. Hatten wir den nach unserer Meinung besten Einstellwert gefunden, so suchten wir anschließend nach der besten Rastergeschwindigkeit. Auch diese konnten wir in dem Programm einstellen.

3 Versuchsauswertung

Wir bekommen zwei präparierte Datenträger und sollen heraus finden, um welchen Typ es sich handelt. Er kann sich um eine gebrannte oder gepresste CD oder DVD handeln. So ergeben sich vier mögliche Typen.

3.1 Vorversuche

Da das sonst verwendete Kallibriergitter abhanden kam, werden die Vorversuche mit dem Datenträger I durchgeführt.

3.1.1 Regler einstellen

Die nachfolgenden Abbildungen 4 und 5 dienten nur, um die optimale Einstellung des PI-Reglers zu ermittlen.



Abbildung 4: PI-Regler Test



Abbildung 5: PI-Regler Test Regelbild

Auf der Abbildung 4 kann man erkennen, dass es im unteren Bereich noch keine deutlichen Farbunterschiede gibt. Dort war der Regler nur auf 1 (P : I = 1: 1) eingestellt. Die Höhe wird also zu langsam geregelt. Während der Aufnahme wurde der Regler nach einigen Zeilen mit konstanter Regelung auf 1, 3, 5, 7,

8, 9, 10, 11, 12, 13 und 10 eingestellt. Je größer der Wert des Reglers, desto stärker sind die Kontraste zu erkennen. Doch bei zu hoher Einstellung, wird kein sinnvolles Bild mehr entworfen. Das Bild 5 zeigt den Regelbedarf. Wir entscheiden uns für die Einstellung 11:11.

3.1.2 Rastergeschwindigkeit einstellen

Nachfolgende Bilder zeigen das Fehlerbild mit der Reglereinstellung 11:11 und den Scangeschwindigkeiten 0,2 $\frac{s}{line}$, 0,5 $\frac{s}{line}$ und 1 $\frac{s}{line}$.



Abbildung 6: Fehleraufnahme mit 0,2 $\frac{s}{line}$



Abbildung 7: Fehleraufnahme mit 0,5 $\frac{s}{line}$



Abbildung 8: Fehleraufnahme mit 1 $\frac{s}{line}$

Das Fehlerbild, das am kontrastärmsten ist, deutet auf eine gute Einstellung hin. Wir entscheiden uns für 0,7 Zeilen pro Sekunde.

Alle weiteren Messungen werden mit einer Rastergeschwindigkeit von 0,7 $\frac{s}{line}$ und der Reglereinstellung 11:11 durchgeführt.

3.2 Datenspeicher I

Um die Spurbreite des Datenträgers I zu messen, machen wir wieder eine Aufnahme (Abbildung 9) mit dem AFM.



Abbildung 9: Datenträger I

Wie man schon dem Bild entnehmen kann, sind die Abmessungen des Messbereichs 20 µm auf 20 µm. Das Programm *WSxM 4.0 Develop 12.21 von Nanotec Electronica S.L.* nutzen wir, um die Topographie in einem Diagramm (Abbildung 10) festhalten zu können.



Abbildung 10: Ein Profil des Datenträger I

Abstand aller Täler	Anzahl der Täler
26,5	18
$14,\!3$	10
18,75	13
$14,\!8$	10
11,4	8

Tabelle 1: Spurbreite des Datenträgers I

So kommen wir durch Auszählen und Abmessen gemittelt auf eine Spurbreite von 1,450 µm bei einer Standardabweichung von 0,025 µm. Somit schließen wir auf eine CD. Der Literaturwert für die Spurbreite einer CD liegt bei 1,6 µm (aus [Stt]). Der relative Fehler beträgt 9,37 %.

Da das gesamte Bild von Rillen durchzogen ist, muss es sich um eine gebrannte CD handeln. Man kann auch noch die Rauigkeit untersuchen. Diese zeigt Abbildung 11 :



Abbildung 11: Histogramm des Datenträgers II

Man sieht schön die Häufung an zwei Höhen. Diese ergeben sich durch die Rillen. Um eine bessere räumliche Vorstellung einer gebrannten CD zu bekommen, kann man sich die Abbildung 12 anschauen:



Abbildung 12: 3D-Ansicht der gebrannten CD bei 20 μm

3.3 Datenspeicher II

In Abbildung 13 können wir keine Fugen, sondern nur einzelne Löcher (Pits) erkennen. Es muss sich hier also um einen gepressten Datenträger handeln. Die Spurbreite weist hier auf eine DVD hin..



Abbildung 13: Datenträger II (5 μ m)

Die Abmessungen der Aufnahme sind 5 μm auf 5 $\mu m.$

Abstand der Täler	2,138	1,469	$1,\!489$	$2,\!214$	$3,\!56$
Anzahl der Täler	3	2	2	3	5
Spurbreite in µm	0,7126666667	0,7345	0,7445	0,738	0,712

Tabelle 2: Datenträger II bei 5 $\mu\mathrm{m}$

Gemittelt ergibt sich für die Spurbreite: $(0,727 \pm 0,015) \mu m$ Der relative Fehler beträgt 1,76 %.

Abbildung 14 zeigt noch einmal den Datenträger II, allerdings werden 10 µm auf 10 µm aufgezeichnet.



Abbildung 14: Datenträger II bei 10 $\mu\mathrm{m}$

Auch hier messen wir wieder die Spurbreite. Tabelle 3 gibt Aufschluss über die Messungen.

Abstand der Täler	2,968	4,488	3,735	4,516	3,724
Anzahl der Täler	4	6	5	6	5
Spurbreite in µm	0,742	0,748	0,747	0,752666667	0,7448

Ta	belle	: 3:	Dat	tentra	äger	Ш	bei	10	μm
----	-------	------	-----	--------	------	---	-----	----	----

Mittelt man über die fünf Messwerte, ergibt sich für die Spurbreite: $(0,747\pm0,004)$ µm

Das entspricht einem relativen Fehler von 0,95 %.

Nun sind wir uns sicher, dass es sich bei Datenträger II um eine DVD handelt, denn die Literatur gibt einen Wert von 0,74 μ m (aus [Stt]) an. Des Weiteren kann man an Hand der Abbildungen 13 und 14 erkennen, dass es sich um eine gepresste Scheibe handelt, da keine Rillen zu erkennen sind. Es wurden lediglich die Pits, also die Vertiefungen, in den Datenträger gepresst. Abbildung 15 zeigt das Histogramm der Rauigkeit:



Abbildung 15: Histogramm des Datenträgers II bei 5 μm

Man sieht, dass es keine zwei Häufungen gibt, wie bei einem gebrannten Datenträger. Das ist ja auch klar, da die Information in einen "flachen" Datenträger gepresst wird. Die 3D-Ansicht der gepressten DVD sieht wie folgt aus (Abbildung 16):



Abbildung 16: 3D-Ansicht einer gepressten DVD bei 5 $\mu\mathrm{m}$

Auch hier kann man schön die Pits, also die hinein gepressten Vertiefungen, sehen.

3.4 Polymer

Neben den beiden ersten Datenspeichern untersuchten wir auch noch einen Polymermischung. Bei drei Aufnahmen variierten wir jeweils das Scangebiet. Die Größen waren $(15\mu m)^2$ (Abbildung 17), $(20\mu m)^2$ (Abbildung 18) und $(30\mu m)^2$ (Abbildung 19).



Abbildung 17: Polymer bei 15 $\mu\mathrm{m}$



Abbildung 18: Polymer bei 20 μm



Abbildung 19: Polymer bei 30 μm

Anhand der Abbildungen kann man erkennen, dass es sich um zwei ineinander eingebundene Polymere handelt, die jeweils eine andere Höhe haben. Das wird noch deutlicher im zugehörigen Histogramm (Abbildung 20):



Abbildung 20: Histogramm des Polymers

Man hat, da die Aufnahme ja in drei Dimensionen stattfindet, die Möglichkeit das Polymer in 3D zu betrachten (Abbildung 21):



Abbildung 21: 3D-Ansicht des Polymers bei 20 µm

Zu dem interessiert uns noch die Kraft-Distanz-Kurve des Polymers (siehe 1.4). Diese wird nicht an einem einzelnen Punkt erhoben, sondern entlang einer Linie, die wir mit dem Programm Nanosurf easyScan e-line festlegen können. Ziel soll sein, dass wir die unterschiedlichen Adhäsionskräfte zwischen der Spitze des Cantillevers und den beiden Polymeren erkennen können. Betrachten wir dazu die Abbildung 22.



Abbildung 22: Kraft-Distanz-Kurve des Polymers

Im linken Fenster ist die Topographie des Polymers. Dort legen wir wir die Strecke hinein, entlang dieser die Kraft-Distanz-Kurven aufgenommen werden sollen. Insgesamt macht der Cantilever 64 Kraft-Distanz-Messungen. Die aktuelle wird immer im mittleren Fenster angezeigt. Das interessanteste ist das rechte Fenster. In diesem ist so zu sagen eine Topographie aller aufgenommenen Kraft-Distanz-Kurve zu sehen. Dunkel bedeutet tief. Der dunkle vertikale Streifen links der Mitte bedeutet also, dass die Kurve dort am tiefsten ist. An zwei Stellen ist der dunkle Streifen etwas unterbrochen. Das ist genau an den Stellen, an denen das andere Polymer sitzt. Man kann also daraus schließen, dass zwischen dem großflächigen Polymer (im linken Fenster dunkel) und dem Cantilever eine kleinere Adhäsionskraft wirkt, als zwischen dem Cantilever und dem im Bild weiß dargestelleten.

3.5 Datenspeicher III

Beim dritten Datenspeicher handelt es sich um eine von uns mitgebrachte 1083,8 MB große Festplatte vom Typ Western Digital Caviar 21000. Das mit dem Rasterkraftmikroskop aufgenommene Bild (5 μ m) sieht wie folgt aus (Abbildung 23):



Abbildung 23: HDD im AFM bei 5 μm

Vervierfacht man das Beobachtungsgebiet, sieht es so aus (Abbildung 24):



Abbildung 24: HDD im AFM bei 10 μm

Da die Information auf einer Festplatte magnetisch gepeichert ist, kann man mit einem AFM nichts erkennen, außer die leichten Unebenheiten. Die Rauigkeit kann man auch noch graphisch darstellen (Abbildung 25):



Abbildung 25: Histogramm der HDD bei 5 μm

Das Bild bedeutet, dass fast alle Messungen eine maximale Höhendifferenz von 100 nm aufweisen. In drei Dimensionen erscheint die Festplatte recht unspektakulär, da ja die Information auf ihr nicht mechanisch gespeichert ist (Abbildung 26):

4 DISKUSSION



Abbildung 26: 3D-Ansicht der Festplatte bei 10 µm

4 Diskussion

Die größten Probleme bereiteten uns die Kraft-Distanzkurven. Hier mussten wir zweimal die Probe unter dem Mikroskop verschieben, um andere Bereiche untersuchen zu können. Bei den ersten beiden Versuchen war es nicht möglich, signifikante Unterschiede in den Kraft-Distanz-Kurven der verschiedenen Polymere zu erkennen. Die letzte (und die von uns gezeigte) Untersuchung war jedoch erfolgreich.

Da CDs und DVDs mittlerweile ja schon von neueren Medien ersetzt werden, hätte uns auch die Struktur einer Blu-Ray- beziehungsweise einer HD-DVD sehr interessiert.

Außerdem waren wir von unserer mitgebrachten Probe (Festplatte) enttäuscht. Da die Bits magnetisch gespeichert werden, ist es im Nachhinein klar, dass wir durch Rasterkraft-Mikroskopie keine interessanten Bilder der Topoghraphie bekommen würden. Deshalb würden wir den nächsten Praktikanten empfehlen andere zu untersuchende Oberflächen mitzubringen.

Literatur

 $[hmi] http://www.hmi.de/bereiche/se/se1/projekte/a_methoden/struktur/afm/index.html.$

- $[Nan] \ http://www.nanocraft.de/competence/epfm/epfm.html.$
- [Stt] www.uni-stuttgart.de/izfm/lehre/praegen.pdf.
- [wik] http://de.wikipedia.org/wiki/rasterkraftmikroskop.