

Abschlussbericht für das Projekt Anschauliche Quantenphysik

1. Allgemeine Angaben

Das Projekt wurde vom April 2004 bis Januar 2006 realisiert. Es ist beabsichtigt es mit dem Schuljahr 2006/2007 fortzusetzen.

Projektleiter war Bernd Kretschmer, Diplomphysiker, Studiendirektor, Fachberater des Oberschulamts, Leiter von Lehrerfortbildungen zur Quantenphysik, Mitautor des Dorn Bader Physik 12 /13 für die Oberstufe des Gymnasiums.

Physik-AG , Hans-Thoma-Gymnasium Lörrach

Alle Gymnasien in der in der Nachbarschaft von Lörrach (Weil, Schopfheim, Grenzach-Wyhlen) wurden angeschrieben und Schüler/innen aufgefordert sich unter Vorlage des letzten Zeugnisses für diesen Ferienkurs zu bewerben. 15 SchülerInnen vom Hans-Thoma-Gymnasium, Hebel-Gymnasium Lörrach, Kant-Gymnasium Weil, Theodor-Heuss-Gymnasium Schopfheim, Lise-Meitner-Gymnasium Grenzach-Whylen konnten dann an dem Einführungskurs teilnehmen. Zeitweise nahmen auch zwei weitere Lehrer an dem Projekt teil. Eine größere Zahl von Teilnehmern wäre bei der geplanten Arbeitsweise auch nicht zu verkraften gewesen.



Bild 1 Die Teilnehmer der Sommerschule

Die Lieferung des Raster-Tunnelmikroskops und des Zubehörs erfolgte Ende April/Anfang Mai 2004. In der Arbeitsgemeinschaft beschäftigten wir uns zu dieser Zeit intensiv mit Problemen für das International Young Physicists´ Tournament, das Ende Juni - Anfang Juli in Australien stattfinden sollte. Der Start des Projektes musste also auf Ende der Sommerferien verschoben werden.

Die Arbeitszeit in der letzten Ferienwoche war jeweils von 10 Uhr bis 14 Uhr. Die Gruppe sollte in Partnerarbeit ein Skript durcharbeiten, die zugehörigen Experimente durchführen und theoretische Fragestellungen mit Simulationsprogrammen untersuchen. Lehrervortrag fand in der Woche nicht statt. In den normalen AG-Stunden war dann die Weiterarbeit vorgesehen.

2. Ziele und Erwartungen

Die SchülerInnen hatten zu der Zeit während des Normalunterrichts noch nichts von Quantenphysik gehört. Ziel war es, die Schüler mit Grundzügen der Quantenphysik vertraut zu machen und erste Messungen mit dem STM durchzuführen. Bei dem Projekt sollten zunächst Grundlagen dafür gelegt werden, um das Arbeiten mit dem Rastertunnel-Mikroskop vorzubereiten und die neuen Denkweisen der Quantenphysik kennen zu lernen. Das Ziel „Atome sehen“ bildete für die SchülerInnen einen großen Anreiz. Eine Dreiergruppe sollte sich intensiver mit der Auswertung beschäftigen und eine „Jugend forscht“ Arbeit verfassen.

3. Vorbereitung

Als Grundlage für diese Sommerschule diente ein Skript der ETH Zürich, das von mir entsprechend dem neuen Lehrplan für Quantenphysik in Baden-Württemberg umgeschrieben und ergänzt wurde. Da ich als Fachberater des Oberschulamts mehrere Fortbildungsrunden zur Quantenphysik entsprechend dem neuen Lehrplan durchgeführt hatte, konnte ich von den da gemachten Erfahrungen profitieren. Dieses Skript mit etwa 100 Seiten erhielt jeder der Teilnehmer.

Ursprünglich war bei der Antragstellung geplant gewesen, das Rastertunnel-Mikroskop auch bei den Lehrerfortbildungen einzusetzen. Durch Verzögerungen bei dem Bewilligungsverfahren ließ sich dieses Vorhaben nicht mehr realisieren.



Das Leitprogramm der ETH war so strukturiert, dass in Partnerarbeit Kapitel durgearbeitet werden, also kein Lehrervortrag stattfand. Experimente, die dort vorgeschlagen wurden, hatte ich für jeden Tag vorbereitet, so dass die Teilnehmer abwechselnd daran arbeiten konnten. Einzelne Versuche (z.B. Farbtröpfchen am Doppelspalt, Versuche zu Beugung am Doppelspalt) konnten auch in genügender Anzahl bereitgestellt werden. Auch die Einführung in den Zeigerformalismus mit Rädchen, die aus Untersetzern für Polstersessel und Handgriffen aus dem Baumarkt gebastelt waren, waren in ausreichender Anzahl vorhanden. Damit „verbildlichten“ die Schüler die Pfeiladdition nach Feynman. Andere Experimente wie Elektronenbeugung, radioaktiver Zerfall, Modellversuch zum

Tunneleffekt, Franck-Hertz-Versuch wurden im Wechsel durchgeführt.

Dies ging überraschend gut mit einer vorbildlichen Arbeitshaltung. Ergänzt wurde dieses Skriptum durch Simulationsprogramme zur Quantenphysik von Prof. Bader, die von den Teilnehmern in Zweiergruppen an Laptops bearbeitet wurden. Dabei kam uns zu Gute, dass ich als Mitautor des Schulbuchs Dorn Bader Physik 12/13 die Möglichkeit hatte, die Programme von Prof. Bader zu verwenden. Die 15 Laptops hatten wir für die AG durch andere Projekte und Erfolge der AG in der Vergangenheit erhalten.

Für die Weiterarbeit während der Schulzeit ergaben sich bei einigen Schülern von anderen Gymnasien Schwierigkeiten, da zu der AG-Zeit (Freitags, ab 15 Uhr 45) Sportkurse lagen. Diese Probleme ließen sich leider auch nicht beheben.

4. Durchführung

Die Arbeit an dem Lernprogramm, den Simulationsprogrammen und den Experimente verlief ohne Schwierigkeiten. Bei der Software, die mit dem Rastertunnel-Mikroskop EasyScan mitgeliefert wird, besteht auch die Möglichkeit den Messvorgang zu simulieren. Es brauchte einige Zeit, ehe wir mit dem Programm klar kamen, aber letztlich konnten innerhalb dieser Woche die ersten Bilder (in der Simulation) erstellt werden.

Zum Abschluss jeden Tages schrieben die SchülerInnen einen Test um eine Rückkopplung zu haben, wie das Gelernte ankam. Allerdings sahen die Teilnehmer dies etwas kritisch („nun schreiben wir schon in den Ferien Klassenarbeiten!“), so dass ich dies nach dem dritten Tag einstellte.

Bei der Arbeit mit dem Rastertunnel-Mikroskop braucht es längere Erfahrung, um beurteilen zu können, ob die Bilder, die erstellt wurden, nur Artefakte z.B. durch Doppelspitzen sind oder der „wirklichen“ Oberfläche entsprechen. Mit Prof. Güntherodt, Leiter des Nationalen Forschungsschwerpunktes Nanowissenschaften in der Schweiz, von der Universität Basel hatten wir eine Kooperation bei unserem Projekt vereinbart. Leider erkrankte mit Beginn des



Schuljahres Herr Prof. Güntherodt, er vermittelte uns aber noch den Kontakt zu Prof. Meyer, PD Dr. Hegner und Herrn Reimann vom Physikalischen Institut Basel, die auch alle auf diesem Gebiet arbeiten. Für die Schüler war es interessant und überraschend, dass hier ein „normal“ ausgebildeter Physiker (Prof. Meyer) mit einem Biologen (PD Dr. Hegner) und einem Ingenieur (Herrn Reimann) am gleichen Institut zusammenarbeiteten. Uns interessierte in erster Linie die Qualität unserer Bilder und was man dabei verbessern könnte. Zur Vorbereitung des Besuchs übermittelten wir (natürlich per

Email) einen Fragenkatalog, um diesen Nachmittag möglichst effektiv zu gestalten. Bei unserem ersten Treffen in Basel erhielten wir viele Hinweise für unsere weitere Arbeit.

Weiterhin hatten wir eine Zusammenarbeit mit Prof. Roland Wiesendanger (Hamburg, einem ehemaligen Schüler von mir) angestrebt. Prof. Wiesendanger ist

Director of the Institute of Applied Physics (IAP)

Microstructure Advanced Research Center Hamburg (MARCH)

Coordinator of the German Center of Competence HanseNanoTec and

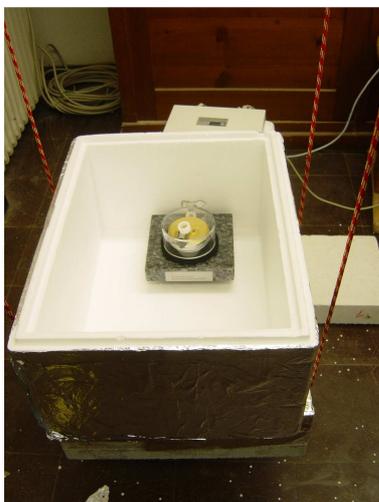
Interdisciplinary Nanoscience Center Hamburg (INCH) University of Hamburg,

hat 320 Veröffentlichungen und 7 Bücher zu dem Thema Rastertunnelmikroskopie geschrieben.

Für die Herbstferien konnten wir einen Besuch an seinem Institut vereinbaren. Trotz seines



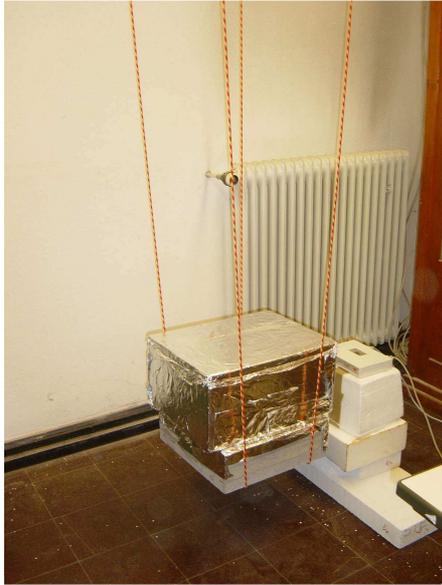
übereichen Terminkalenders fand Prof. Wiesendanger an den beiden Tagen viel Zeit für uns und organisierte in seinem Institut und dem Institut für Festkörperphysik ein umfassendes Programm. Der Aufenthalt in Hamburg wurde für alle zu einem bemerkenswerten Erlebnis. Auch der emotionale Aspekt einer gemeinsamen Exkursion an ein Forschungsinstitut ist meinem Erachten nach für das



Gelingen eines solchen Projekts, durch die daraus entstehende Motivation besonders wichtig. Insbesondere beeindruckte Herr Wiesendanger durch seinen Enthusiasmus, mit dem er von seinen Forschungsergebnissen berichtete.

Aus den Gesprächen mit Prof. Wiesendanger ergaben sich viele Anregungen für unsere weitere Arbeit, wie Maßnahmen zur Abschirmung akustischer und elektrischer Störfelder. Auch Temperaturschwankungen sollten möglichst vermieden werden. Eine Temperaturänderung von $1/10^0$ C verändert die Lage der Spitze um 1 nm und zerstört damit vollständig die atomare Auflösung. Zur Dämpfung gegen Trittschall empfahl Prof.

Wiesendanger die ganze Anordnung an Seilen aufzuhängen. All diese Anregungen verwirklichten wir



nach der Rückkehr, indem wir das STM in einer Styroporkiste, beklebt mit Alufolie, an Kletterseilen im Keller unserer Schule aufhängten.

Ebenfalls erhielten Schüler Anstöße für „Jugend forscht“ Projekte. Er schlug vor einen „Pulser“ zu bauen, mit dem man auf der Oberfläche von Proben Atome manipulieren kann. Da dies einen Eingriff in die Elektronik des Gerätes EasyScan erfordert, planten wir als Nächstes einen Besuch bei der Firma Nanosurf, der Herstellerin des Easyscan in Liestal. Man begegnete uns dort freundlich, aber letztlich doch reserviert, als es darum ging die Schaltpläne für das Gerät zu erhalten. Ohne die schien ein Eingriff in die

Elektronik des Gerätes zu riskant, da dann auch alle Gewährleistungsverpflichtungen der Firma entfallen würden. Auch Hinweise auf „Jugend forscht“ brachten uns dort nicht weiter.

In der Zwischenzeit war Prof. Güntherodt wieder genesen und wir konnten ein Treffen mit ihm und seinen Mitarbeitern vereinbaren. An diesem Nachmittag erhielten wir wieder viele Informationen zu unseren Aufnahmen von Graphit – und Gold-Oberflächen, die wir in der Zwischenzeit gemacht hatten. Wir lernten auch eine freie Software (WSxM) kennen, die eine bessere Darstellung der Messergebnisse gestattete. Die Gründer von Nanosurf hatten alle ihre Ausbildung in dem Institut von Prof. Güntherodt erhalten. So konnte unsere „Jugend forscht“ Gruppe (Alexander Joos, Andreas Lang, Franz Knuth) von dem Elektroniker, bei dem die Nanosurf-Leute gelernt hatten, an zwei Nachmittagen wichtige Informationen über die Elektronik des EasyScan erfahren, so dass ich dem Vorhaben zustimmte. Der „normale“ Betrieb des EasyScan wurde durch die Zusatzelektronik nicht beeinflusst.

Der Bau des Pulsers war aber nur ein Ziel bei der Arbeit mit dem STM. Zunächst wurde die Oberfläche von Graphitproben vermessen, die dabei auftretenden Winkel und Atomabstände untersucht. Die Aufnahme von Kennlinien (Entfernungen gegen Strom, bzw. Strom gegen Spannung) bildeten weitere wichtige Schritte bei der Untersuchung von Gold und Molybdänoberflächen. Da die Goldprobe, die mitgeliefert wurde, wahrscheinlich durch Umgebungseinflüsse korrodiert war, lösten die Schüler aus einer DVD die Goldschicht heraus, und verwendeten sie als neue Probe. Dies führte dann zu besseren Ergebnissen.

Beim Regionalwettbewerb von „Jugend forscht“ war der Pulser dann soweit, dass man erste Veränderungen auf der Oberfläche erkennen konnte. Ein Schreiben war noch nicht möglich. Dies sollte dann bis zum Landeswettbewerb so weit sein. Leider kam es nicht dazu, da die Juroren fanden, dass es sich nur um Standardversuche handelte. Das stimmt zum Teil, allerdings auf sehr hohem Niveau, da Aufnahmen und Kennlinien in vielen Fällen besser waren als die Ergebnisse von Fortgeschrittenen-Praktika, deren Protokolle wir aus dem Internet herunterladen und vergleichen

konnten. Vielleicht kommt dabei auch etwas ein Vorurteil von „Jugend forscht“ gegen gekaufte fertige Apparate zum Ausdruck. Der Pulser funktionierte zu dem Zeitpunkt tatsächlich nur ansatzweise, aber nach Auskunft von Prof. Wiesendanger hat dies unter Umgebungsbedingungen (kein Hochvakuum, Umgebungstemperatur) noch kein Institut auf der Welt gemacht. Mit einem 3. Preis war die Gruppe demotiviert, insbesondere da wir an unserer Schule bei Jugend forscht sonst sehr erfolgreich sind (10 Regionalsieger, zwei Landesieger in den vergangenen Jahren). Die Weiterführung des Projekts war schwierig. Wichtig erschien mir dabei, dass diese Schüler sich weiter mit dem Gebiet beschäftigten. Während des Entstehens der „Jugend forscht“ Arbeit führten weitere SchülerInnen aus der Sommerschule Messungen mit dem STM durch.

So kam es mir sehr gelegen, dass Alexander Joos an einem Wettbewerb in Kattowice, dem ICYS (der International Conference of Young Scientists), teilnehmen wollte. Sein Beitrag „Investigation of surfaces with a scanning tunneling microscope“ brachte ihm bei diesem internationalen Wettbewerb einen zweiten Preis ein. Mit einem anderen Thema (Flugkurven von Tischtennisbällen) wurde Alexander mit einem Kollegen 2006 bei „Jugend forscht“ Regional-, Landes- und Bundessieger (Sonderpreis der Bundeskanzlerin).

Es gelang Alexander Joos ein 14-tägiges Praktikum am Institut MARCH von Prof. Wiesendanger zu vereinbaren. Das Praktikum mit hervorragender Betreuung durch Doktoranten fand in den Sommerferien 2005 statt. Alexander konnte dabei seine Kenntnisse auf dem Gebiet der Rastertunnel-Mikroskopie vertiefen.

5. Nachbereitung

Außer der Jugend forscht Arbeit entstanden eine Seminararbeit und zwei GFS (Gleichwertige Feststellung von Schülerleistungen) im Zusammenhang mit dem EasyScan. Eine Aufbereitung der „Jugend forscht“ Arbeit und des Simulationsprogramms für das EasyScan erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung **BMBF** (Dr. Diesel) (siehe auch Öffentlichkeitsarbeit).

6. Zielerreichung

Ziel war es die SchülerInnen mit Grundzügen der Quantenphysik in einem „Steilkurs“ vertraut zu machen und erste Messungen mit dem STM (Scanning Tunneling Microscop) durchzuführen. Das wurde von den Teilnehmern erreicht. Der Kurs in den Sommerferien wurde von allen Teilnehmern sehr positiv beurteilt. Dabei konnten Grundlagen für das anschließende Arbeiten mit dem STM gelegt werden. Auch die Kontakte mit Wissenschaftlern von der Universität Basel und Hamburg waren wertvolle Bereicherungen. Die Jugendlichen fühlten sich von den Wissenschaftlern ernst genommen und erhielten so Motivation für die Weiterarbeit.

Mühsam war besonders in der Anfangsphase das eigentliche Arbeiten mit dem STM. Wenn nach drei Stunden im Keller unserer Schule immer noch kein „gutes“ Bild entstanden war, die Spitze des STM

mehrfach neu geschnitten wurde, die Probe mehrmals abgezogen wurde um eine glatte Oberfläche zu erhalten, brauchte es schon einiges an Durchhaltevermögen, um dann bei nächster Gelegenheit weiter zu machen. Ich wies die Schüler aber darauf hin, dass dies mehr dem Laboralltag bei Forschungen entspricht als die Physikversuche im Unterricht oder im Praktikum, die (meistens) glatt laufen.

Ein solcher Kurs in den Sommerferien kann wiederholt werden, besonders da jetzt schon ein wesentlicher Teil der Vorbereitung, die Erstellung eines Skripts, abgeschlossen ist. Trotzdem muss man sich darüber im Klaren sein, dass es für Lehrer und Schüler einen beachtlichen Zeitaufwand darstellt.

Die Vernetzung von Universität, Schule, Wissenschaft, Industrie und BMBF als ein wesentliches Ziel des Vorhabens ist erreicht worden.

7. Öffentlichkeitsarbeit

In der Zeit vom 25. September bis 1. Oktober fand in Stuttgart der Wissenschaftssommer statt. Unsere Gruppe wurde eingeladen im Rahmen von NaT-Working Projekten am Stand der Robert Bosch Stiftung auf dem Schlossplatz dort unsere bisherige Arbeit an einem Tag zu präsentieren. Zahlreichen



interessierten Besuchern (vom Knirps mit 6 Jahren bis zum Hochschulprofessor) erklärten die Schüler die Funktionsweise des Raster-Tunnelmikroskops und Grundzüge der Quantenphysik. Mit Simulationsprogrammen führten wir in die merkwürdigen Eigenschaften der Teilchen im Mikrokosmos ein. Aus Übersetzern für Sessel und Holzgriffen hatte die Gruppe

Rädchen (sogenannte λ -Zähler) selbst gefertigt. Damit verbildlichten die Schüler die Pfeiladdition nach Feynman. Live-Aufnahmen mit dem STM sind in einer solchen Umgebung (Erschütterungen durch die Besucher) nicht möglich, aber wir zeigten Bilder, die wir von Graphit- und Goldoberflächen in den letzten Wochen gemacht hatten.

Beim NaT-Working Symposium in Heidelberg präsentierten ein Schüler und eine Schülerin die Ergebnisse unsere Arbeit.

Jugendliche in der Schweiz sollten mit einem Film spannend und anregend in die Nanotechnologie eingeführt werden. Dazu sollte eine DVD „Nanowelten“ produziert werden.

Dr. Gyalog von der Universität Basel fragte, ob nicht unsere SchülerInnen der AG mitwirken könnten, da sie praktische Erfahrung im Umgang mit einem STM hatten. Das EMPA (Eidgenössische Material-

Prüfungs-Amt) und der NFS Nanowissenschaften der Universität Basel waren die Auftraggeber. Neben den Schüler kamen dabei auch so prominente Wissenschaftler wie Heinrich Rohrer (Nobelpreis zusammen mit Gerhard Binnig für das Rastertunnel-Mikroskop) zu Wort.

Eine andere Gelegenheit, bei der die die Arbeit unserer AG und auch besonders das Projekt Anschauliche Quantenphysik-Atome sehen, präsentiert wurde, war ein Jubiläum des Zentrums für Spielen und Gestalten in Lörrach. Einem breiten Publikum (vom Kindergarten bis zur Universität) wurden die Ergebnisse unserer Projekte vorgestellt.

Bei Wettbewerben wie dem ICYS oder Jugend forscht präsentierten die Schüler ihre Arbeit.

Die Jugend forscht Arbeit von Alexander Joos, Franz Knuth und Andreas Lang (siehe Anlage) fand 2006 doch noch Beachtung. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung **BMBF** (Dr. Diesel) beabsichtigte eine „Nanocommunity“ zu gründen und Kontakte zwischen Schulen und Universitäten, die sich mit diesem Thema beschäftigen, herzustellen. Die Jugend forscht Arbeit von den drei Schülern wurde in sehr ansprechender Weise aufbereitet und auf die Webseite gestellt. Zusätzlich wurden viele Links eingefügt, die sich mit Quantenphysik und Rastertunnel-Mikroskopen beschäftigen.

Siehe <http://www.lehrer-online.de/url/stm-projekt>

Für das Simulationsprogramm zum EasyScan habe ich auch eine kurze Anleitung geschrieben, die ebenfalls auf der Webseite zu finden ist.

8. Perspektiven

Ende Juli 2006 werde ich auf einem Seminar "Teaching Scanning Probe Microscopy and Nanotechnology 2 - TSPM+N 2" in Basel über das Projekt berichten. Am Hans-Thoma-Gymnasium ist geplant mit dem Schuljahr 2006/07 ein Schüler-Forschungs-Zentrum nach dem Vorbild von dem SFZ Südwürttemberg zu gründen. Als eine Säule des SFZ's ist die Nanotechnologie projektiert. In diesem SFZ werden wir wieder das EasyScan installieren und es ist geplant dann auch wieder eine neue Gruppe aufzubauen, die an dem Projekt weiter arbeitet. Die Einführung sollte dann wieder mit einem Ferienkurs starten. Geplant ist auch die Beschaffung eines Rasterkraftmikroskops um die Untersuchungsmöglichkeiten in diesem Gebiet zu erweitern. Für die trinationale Erweiterung hat uns Herr Dr. Gyalog, Präsident der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft, seine Unterstützung zugesagt.

Anlagen:

Die Jugend forscht Arbeit „Untersuchung und Veränderung von atomaren Oberflächen mit einem STM“

von Alexander Joos, Franz Knuth, Andreas Lang:

Die Power Point Präsentation von Alexander Joos vom ICYS: „Investigation of surfaces with a scanning tunneling microscope“ ,

Kopie der Web-Seiten des BMBF, wird und Schweizer Lehrer auf das Projekt aufmerksam machen soll.

Das Plakat (als CD) vom NaT-Working-Symposium.

Ein Artikel, der in den „Mitteilungen der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft“ erscheinen