

## Nanotechnologie in der Berufsbildung Das Projekt NANO-4-SCHOOLS

Martin Vonlanthen\* und Peter Labudde<sup>+</sup>

\*Eidgenössisches Hochschulinstitut für Berufsbildung (EHB), Zollikofen,

<sup>+</sup>Pädagogische Hochschule Bern, Institut Sekundarstufe II

(Eingegangen: 12.07.2006; Angenommen: 31.01.2007)

### Kurzfassung

Die Nanotechnologie verspricht großes wirtschaftliches Potential, viele Anwendungen werden die berufliche Arbeit verändern. Mit dem Projekt *Nanotechnologie in der Berufsbildung NANO-4-SCHOOLS* wurde versucht, geeignetes nanotechnologisches Wissen aus Forschung und Entwicklung in die Berufsbildung zu tragen und den Lernenden einen praxisorientierten Zugang zu dieser Technologie zu ermöglichen. Zu dem Zweck wurden mit Lehrpersonen aus der deutsch- und der französischsprachigen Schweiz Unterrichtseinheiten zu Themen der Nanotechnologie erarbeitet, durchgeführt und evaluiert. Wie die Evaluationsergebnisse zeigen, schätzen die Lernenden einen handlungsorientierten Zugang und sind fasziniert vom Potential der Technologie. Als ein geeignetes Instrument für den Blick in die Nanowelt hat sich das Rastkraftmikroskop (AFM) erwiesen.

### 1. Neue Technologien – ein Thema für Schulen?

Als Menschen des 21. Jahrhunderts sind wir mit der rasanten Entwicklung der Technik konfrontiert. Informationstechnologien bilden vielfach die Basis für unsere Arbeits- und Alltagswelt. Die Nanotechnologie liefert uns neue Produkte mit unglaublichen Eigenschaften, damit verbunden sind aber auch unabsehbare Risiken. Als Bürgerinnen und Bürger werden wir immer häufiger aufgefordert, zu komplexen technischen Fragen wie z.B. eben Nano- oder Gentechnologie Stellung zu beziehen. Gleichzeitig fehlt uns aber oft das naturwissenschaftlich-technische Wissen, um uns ein verantwortungsbewusstes Urteil bilden zu können (Haenger & Vonnont, 2004; de Senarclens, 2005).

Technologisches Wissen ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung neuer Produkte. Technologie kann mithelfen bestehende Arbeitsplätze zu sichern und neue Arbeitsplätze zu schaffen. In der Schweiz aber auch in den anderen europäischen Ländern lässt sich beobachten, dass immer mehr Betriebe auf die Karte Nanotechnologie setzen (Jopp, 2003; Knopp, 2005). Gerade Firmen aus den Bereichen Mikrotechnik und Life-Science haben erkannt, welche Potentiale in dieser Technologie stecken. Neben qualifizierten Forscherinnen und Forschern suchen die Firmen auch vermehrt gut ausgebildete und kompetente Fachkräfte.

Auf der anderen Seite zeigen Untersuchungen, dass Jugendliche im Schulalltag bezüglich des Umgangs mit neuen Technologien nur schlecht auf die Anforderungen der Gesellschaft und Wirtschaft vorbereitet werden. Der Unterricht in den Fächern Natur und Technik orientiert sich häufig an klassischem Fachwissen, bleibt oft ohne erkennbaren Alltagsbezug, ist

stark mathematikorientiert, wenig kommunikativ und kooperativ (siehe z.B. Schallies, 1999; Coradi et al., 2003). Es erstaunt deshalb nicht, dass Jugendliche bei der Berufswahl technische Berufe meiden und viele Betriebe über Nachwuchssorgen in den Ingenieurberufen klagen.

#### 1.1 Berufsbildung Schweiz

Ähnlich wie in Deutschland zeichnet sich das schweizerische Berufsbildungssystem durch eine enge Verflechtung der Lernorte aus. In den Betrieben erwerben die Auszubildenden berufspraktische Fähigkeiten, in der Berufsfachschule Fach- und Allgemeinbildung. Dieses duale System ist breit verankert, im Jahr 2004 entfielen mehr als zwei Drittel aller Eintritte in die Sekundarstufe II auf die Berufsbildung (BBT, 2005). Neben den klassischen Dienstleistungsberufen (Kaufmann/Kauffrau, Verkäufer/-in) haben auch die gewerblich industriellen Berufe (Polymechaniker/-in, Konstrukteur/-in, Elektroniker/-in) einen gewichtigen Anteil an den Lehrverhältnissen.

#### 1.2 Mikro- und Nanotechnologie in der Berufsbildung

Immer mehr Fachkräfte aus gewerblich-industriellen Berufen werden früher oder später mit Mikro- und Nanotechnologie in Berührung kommen. Fertigungsprozesse und die dabei entstehenden Produkte werden weiter miniaturisiert. In rascher Folge werden klassische Verfahren der Mikrotechnik verfeinert (z.B. Lithographie) und neue Verfahren entwickelt (z.B. Rastersondentechnik). Diese Beschleunigungstendenz verlangt nach ständiger beruflicher Aus- und Weiterbildung. Wie reagieren die Berufs-

bildungssysteme der deutschsprachigen Länder auf eine derartige Herausforderung? Zwei exemplarische Beispiele sollen hier kurz erläutert werden.

Deutschland unternimmt große Anstrengungen in der Förderung neuer Technologien auf Stufe der Berufsausbildung. Die Dynamik der Qualifikationsentwicklung in den Hightech Wirtschaftsbereichen hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) veranlasst, zusammen mit Partnern aus Wirtschaft, Forschung und Bildung, ein Forschungsnetz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf (FreQueNz) (vgl. <http://www.frequenz.net>) zu etablieren. Dabei sollen neue Qualifikationen ermittelt werden, die zur Modernisierung bestehender Ausbildungsberufe und Weiterbildungsmaßnahmen sowie zur Schaffung neuer Berufe oder Zusatzqualifikationen beitragen (abi, 10/2005). Erste Ergebnisse zeigen, dass es wohl in absehbarer Zeit kein Berufsbild Nanotechnologe/in geben wird, viel eher sollten Spezialisierungsrichtungen in bestehende technisch-analytisch ausgerichtete Ausbildungen eingebaut werden (Abicht et al., 2003).

Ausbildungsgänge im Bereich Mikrotechnologie auf der Stufe Berufsbildung fehlen in der Schweiz weitgehend - im Gegensatz zu Deutschland. Dies hat auch Swissmem, der Verband der schweizerischen Maschinen-, Elektro-, und Metallindustrie, erkannt und bietet daher seit 2005 in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern einen Lehrgang Mikro- und Nanotechnologie für die Berufsrichtungen Automatisierer/in, Elektroniker/in und Polymechaniker/in an (vgl. <http://www.swissmem-berufsbildung.ch>, unter der Rubrik Projekte sind detaillierte Informationen verfügbar). Die drei Wochen dauernde freiwillige Ergänzungsausbildung steht den Lernenden im Rahmen ihrer betrieblichen Schwerpunktausbildung im 3. und 4. Lehrjahr offen. Erarbeitet wird ein umfassendes, praxisorientiertes, mikrotechnologisches Know-how.

### 1.3 Das Projekt NANO-4-SCHOOLS

Mit dem Projekt „Nanotechnologie in der Berufsbildung NANO-4-SCHOOLS“<sup>1</sup> wurde ein anderer Schwerpunkt gesetzt. Hauptfokus der Projektarbeit war die Sensibilisierung aller Beteiligten (Lernende, Lehrpersonen, Projektmitglieder) für ein neues, weitgehend unbekanntes Thema, für eine innovative Technologie mit großen Chancen, aber auch potentiellen Risiken. Man könnte diesen Fokus auch als Förderung der „Technological Literacy“ (Höpken et al., 2003) bezeichnen. Der interdisziplinäre Charakter der Nanotechnologie steht zudem exemplarisch für die veränderten Anforderungen an einen zeitgemäßen naturwissenschaftlichen Unterricht: Sollen im Unterricht aktuelle technologische Entwicklun-

gen behandelt werden, kann dies nur interdisziplinär geschehen (Labudde, 2003). Da scheint der Berufsschulunterricht gegenüber dem gymnasialen Unterricht einen gewissen Vorteil zu haben. Während sich die Fächer am Gymnasium in der Regel an wissenschaftlichen Disziplinen orientieren (und auch von entsprechend wissenschaftlich „disziplinierten“ Lehrkräften unterrichtet werden), finden wir an Berufsschulen Angebote, die zwar organisatorisch als Fächer im Stundenplan auftreten, sich aber nicht an einer wissenschaftlichen Disziplin orientieren (Schären, 2005). Auf der anderen Seite bildet fachsystematisches Wissen eine wichtige Orientierungshilfe und die Basis für eine substantielle Auseinandersetzung mit aktuellen technologischen Fragestellungen. Fachsystematische Kenntnisse in Physik und Chemie wären hilfreich für das Verständnis der Phänomene der Nanowelt, diese fehlen bei den Berufslernenden aber weitgehend.

Im Weiteren gelten für die Arbeit mit Berufslernenden folgende Rahmenbedingungen:

- knappes Zeitbudget: Berufsschülerinnen und -schüler verbringen nur ein bis zwei Tage in der Woche an der Berufsschule, die restliche Zeit arbeiten sie im Ausbildungsbetrieb,
- Orientierung an praxis- und handlungsorientierten Fragestellungen,
- im Stunden- bzw. Jahresplan sind keine Stunden spezifisch für projektbezogene Arbeiten an Technologiethemata vorgesehen.

Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen liegt es auf der Hand, dass bei der Umsetzung der Projektziele ein pragmatischer Weg gewählt wurde.

## 2. Forschungsfragen

Wie trägt man ein neues, weitgehend unbekanntes und bisher nicht lehrplanrelevantes Thema in das Berufsbildungssystem? Diese zentrale Frage stand im Mittelpunkt unserer Arbeit. In enger Zusammenarbeit mit dem Projektkomitee (mit Vertretern aus Forschung, Wirtschaft, Nano-Förderprogramm TOP NANO 21 und Bildungsforschung) wurden folgende Projektziele festgelegt:

- Aufgreifen von aktuellem nanotechnologischem Wissen aus Forschung und Entwicklung verbunden mit der didaktischen Aufbereitung für den Berufsschulunterricht,
- Fördern des Technologieverständnisses in der Ausbildung von Berufsschullehrpersonen und im Berufsschulunterricht,
- Aufbau einer Plattform zur Veröffentlichung der erarbeiteten Materialien,
- Bereitstellen von geeigneten Instrumenten zur Evaluation des gesamten Prozesses.

Als zentraler Schwerpunkt zur Erreichung der Projektziele wurde die Entwicklung, Durchführung und Evaluation von Unterrichtseinheiten definiert.

<sup>1</sup> Das Projekt wurde finanziell unterstützt von TOP NANO 21 (Technologie Orientiertes Programm; vgl. [www.temas.ch/nano/nano\\_homepage.nsf](http://www.temas.ch/nano/nano_homepage.nsf)). Projektpartner war die Abteilung für das Höhere Lehramt der Universität Bern. Projektdauer: April 2003 – Juli 2005

### 2.1 Entwicklung und Durchführung der Unterrichtseinheiten

Die Suche nach interessierten Berufsschulen erwies sich als schwierig. Neben der fehlenden Lehrplanrelevanz waren fehlende Grundlagenkenntnisse und die zu hohe Komplexität des Themas häufig genannte Gründe, sich nicht am Projekt zu beteiligen. Einige Schulen erkannten jedoch das Potential des Themas und machten von Beginn weg mit großem Engagement mit.

Den bestehenden Informationsbedarf bezüglich Nanotechnologie versuchten wir vorhergehend u.a. mit Dokumentationen, Vorträgen, Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen zu decken. Lehrkräfte und Projektteam suchten gemeinsam nach geeigneten Themen und diskutierten mögliche didaktische Umsetzungsmöglichkeiten. Die Unterrichtseinheiten wurden dann von den Berufsschullehrpersonen weitgehend selbständig erarbeitet.

Der Umfang der Unterrichtseinheiten betrug minimal 3 und maximal 20 Stunden à 45 Minuten. Inhaltliche Schwerpunkte bildeten neben generellen Informationen zum Thema Nanotechnologie praktische, handlungsorientierte Unterrichtssequenzen. Ein zentrales Element dieser Sequenzen war die Arbeit mit dem Rasterkraftmikroskop (Atomic Force Microscope, AFM; siehe Kapitel 3.1).

### 2.2 Evaluation der Unterrichtseinheiten

Alle an den Berufsschulen durchgeführten Unterrichtseinheiten wurden mit Hilfe eines schriftlichen Fragebogens evaluiert. Der erste Teil des Fragebogens widmete sich der didaktischen *Qualität* des Unterrichts: Ziele, Inhalte, Unterrichtsmethodik und Medien/Lehrmittel. Es handelte sich um geschlossene Fragen mit einer Likert-Skala von 1, stimme gar nicht zu, bis 5, stimme völlig zu. Konkrete Ergebnisse zu einzelnen Frage-Beispielen finden sich in Abb. 3 und 4.

Der zweite Teil des Fragebogens erfasste die *Lernmotivation* bzw. das Interesse der Berufslernenden. Zum Einsatz kam eine Adjektivskala (z.B. 1 – gar nicht begeistert bis 4 – sehr begeistert).

Im dritten Teil des Fragebogens zur *Erinnerungsleistung*, wurde nach dem Wissensaufbau gefragt. Thematisch eher breit formulierte Fragen prüften mit einer Punkteskala, wie intensiv die Inhalte im Gedächtnis abgespeichert wurden. Zusätzlich bestand in diesem Teil für die Lehrpersonen die Möglichkeit, einen spezifisch auf die Inhalte ausgerichteten, separaten Wissenstest zu platzieren.

Der Fragebogen umfasste insgesamt 29 Fragen zur didaktischen Qualität und 15 Fragen zur Lernmotivation. Die Anzahl der Fragen zur Erinnerungsleistung variierte; in der Regel waren es sieben Fragen. Befragt wurden sowohl alle Lernenden als auch die Lehrpersonen direkt nach der Durchführung der Unterrichtseinheiten.

In den Jahren 2003-2005 wurden 21 Klassen mit total 336 Auszubildenden unterrichtet (Tabelle 1).

Berufslehre/Ausbildung:	Lehrjahr	Anzahl unterrichtete Personen	Anzahl ausgefüllte Fragebogen
Konstrukteur/in mit Berufsmatura	1. Lehrjahr	22	22
	2. Lehrjahr	36	36
Polymechaniker/in mit Berufsmatura	2. Lehrjahr	59	59
	2. Lehrjahr	22	22
Elektroniker/in	3. Lehrjahr	8	8
	4. Lehrjahr	15	12
Informatiker/in	2. Lehrjahr	16	12
Automatiker/in	2. Lehrjahr	21	21
Dentalassistentin	1. Lehrjahr	15	15
	2. Lehrjahr	13	13
med. Praxisassistentin	1. Lehrjahr	26	26
	2. Lehrjahr	35	35
Vollzeitjahr Berufsmaturität	4. Lehrjahr	20	18
Technikerschule		28	22
<b>Total</b>		<b>336</b>	<b>321</b>

Tabelle 1: Aufschlüsselung der Befragten nach Berufsfeldern und Lehrjahren

Eine detaillierte Zusammenstellung der Fragen gibt das Dokument „Nanotechnologie in der Berufsbildung. NANO-4-SCHOOLS. Eine Projektbilanz“. (Rupf et al., 2005)

### 3. Unterrichtsbeispiele

Eine besondere Herausforderung der Projektarbeit bestand darin, handlungsorientierte Zugänge zur Nanodimension und ihren Phänomenen zu schaffen. Wie kann an vorhandenes Wissen der Lernenden angeknüpft werden, wenn die meisten nanotechnologischen Entwicklungen noch nicht alltagstauglich sind und die meisten Lernenden in ihrem Lehrberuf kaum mit dieser Technologie in Berührung kommen?

Als didaktisch hilfreiche Beispiele zur Erläuterung der Phänomene der Nanodimension erwiesen sich u.a. einfache Experimente zum Lotuseffekt<sup>®</sup> (Cerman et al., 2004) sowie die Herstellung von Farbstoffsolarzellen (vgl. <http://www.mansolar.com>). Die dazu entstandenen Unterrichtseinheiten sind auf der Homepage des Projekts NANO-4-SCHOOLS abrufbar (vgl. <http://www.nanoforschools.ch>).

Ein Koffer mit nanotechnologischen Experimentiermaterialien und Versuchsbeschreibungen (NanoToolBox Koffer) kann bei der Firma Conatex Didactic (vgl. <http://www.conatex.com>) bezogen werden. Im Weiteren bietet der Deutsche Fonds der Chemischen Industrie ein kostenloses Informationspaket über die „Wunderwelt der Nanomaterialien“ an (NanoBox; inkl. Experimentiermaterialien für den Unterricht).

Viele interessante Anregungen zum fächerübergreifenden Nanotechnologieunterricht werden zudem im Werkbuch „Faszination Nanowelten“ und dem Beiheft „Faszination Nanowelten, Tipps für den Unterricht“ des Vereins Nanotechnologie und Schule beschrieben (Nanotechnologie und Schule, 2005).

### 3.1 Das Rasterkraftmikroskop im Berufsschulunterricht

Als hilfreiches Werkzeug zur Arbeit in der Nanodimension erwies sich das Rasterkraftmikroskop (Atomic Force Microscope AFM). Das AFM, eine Weiterentwicklung des Rastertunnelmikroskops (Scanning Tunneling Microscope STM), ermöglicht das Sichtbarmachen von Oberflächenstrukturen im Nanometerbereich. Geschichte und Zukunftsperspektiven der Rastersondentechnologie werden von Bernhart (2005) erläutert.

Das Prinzip des von uns verwendeten AFM ist denkbar einfach. Ein Federbalken mit einer atomfeinen Spitze an einem Ende (Cantilever) liegt auf der Probe wie die Nadel eines Schallplattenspielers auf einer Schallplatte. Der Federbalken rastert nun mit seiner Spitze über die Oberfläche der Probe (in x- und y-Achsenrichtung). Ein Laserstrahl registriert die Bewegung des Federbalkens (z-Achse) und überträgt sie auf eine Photodiode. So entsteht Linie für Linie das entsprechende Höhenprofil der Probe (Abb. 1). Dieser Messmodus nennt sich contact mode.

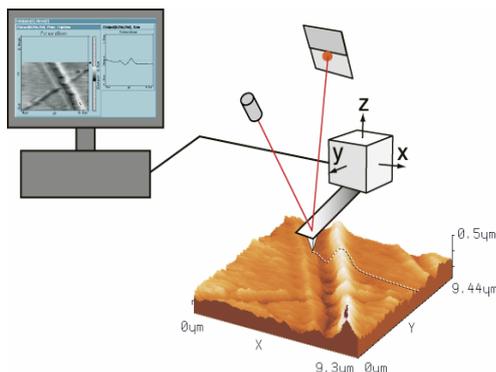


Abbildung 1: Funktionsprinzip des Rasterkraftmikroskops (AFM) (Bildquelle: Nanosurf)

Das von NANO-4-SCHOOLS erworbene Occasions-Gerät (Nanosurf EasyScan E-AFM) lässt sich problemlos transportieren und eignet sich deshalb für den Einsatz an Schulen vor Ort. Das Gerät ist benutzerfreundlich und kann nach kurzer Anleitung von den Lernenden selbständig bedient werden (Abb. 2). Die Software ist übersichtlich, Messdaten lassen sich als Excel-Dateien exportieren, Bilder können direkt im Bitmapformat exportiert und bearbeitet werden (vgl. <http://www.nanosurf.com>).

Das Arbeiten mit dem AFM vereint Aspekte, die für viele Ausbildungsberufe relevant sind: u.a. sorgfältige Arbeit mit feinen Komponenten, Umgang mit dem Computer zur Erfassung und Auswertung von Daten, Berechnungen im Mikro- und Nanometerbereich.

Das projekteigene AFM wird interessierten Schulen leihweise zur Verfügung gestellt. Verfügbarkeiten sind auf der NANO-4-SCHOOLS Internetseite abrufbar (<http://www.nanoforschools.ch>).



Abbildung 2: Berufslernende und Lehrperson des Berufsbildungszentrums Uzwil bei der AFM-Messung (Bildquelle: NANO-4-SCHOOLS)

Im Laufe der Projektarbeit haben die Lernenden weitgehend selbständig unterschiedliche Proben mit dem AFM gemessen (Tabelle 2).

Berufsfelder	Gemessene Proben
Polymechniker/in Konstrukteur/in	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metallische Werkstücke (Rauheitsmessung vor und nach der Bearbeitung)</li> <li>• Oberflächenbeschichtungen (z.B. eloxiert – uneloxiert)</li> <li>• Stromleitende Glasflächen (vor und nach Zinnoxidbeschichtung bzw. Titandioxidbeschichtung)</li> </ul>
Elektroniker/in	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CD- und DVD-Master im Vergleich (Bestimmung der Spurbreite, der Pithöhe, Abschätzung und Vergleich der Speicherdichten)</li> <li>• Mikrochipstrukturen</li> </ul>
Laborant/in Med. Praxisassistent/in	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zellen (Größenvergleich: Bakterium – Hefezelle – rotes Blutkörperchen)</li> </ul>
Dentalassistent/in	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahnoberflächen (Zement, Dentin)</li> <li>• Zahnfüllungen (Amalgam, Keramikkomposite, Nanokomposite)</li> </ul>
Diverse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächen mit Lotuseffekt (Lotusan)</li> <li>• Textilien (z.B. Gore Tex)</li> <li>• Interferenzgitter, Opal (optische Phänomene)</li> <li>• Haar, Knochen, Eierschale, usw. (biologische Hartmaterialien)</li> </ul>

Tabelle 2: Von den Lernenden mit dem AFM gemessene Proben (Auswahl)

Geeignete Messproben finden sich in vielen weiteren Anwendungsgebieten. Die Auswahl leicht messbarer Proben mit didaktischem Nutzen ist allerdings nicht immer ganz einfach. Wir haben zu diesem Zweck eine kleine Sammlung geeigneter Proben bereitgestellt und in den AFM-Transportkoffer integriert (u.a. CD-Master, DVD-Master, Mikrochip). Diese Proben sind sofort einsatzbereit und lassen sich ohne großen Aufwand in kurzer Zeit messen. Im nächsten Kapitel wird, als exemplarisches Beispiel zum Einsatz des AFM im Berufsschulunterricht, die Bestimmung der CD-Speicherkapazität erläutert.

### 3.2 Bestimmung der CD-Speicherkapazität

Damit die Aufgabe gelöst werden kann, machen sich die Lernenden zuerst durch eine Internetrecherche mit Aufbau, Funktionsweise (Datenkodierung) von CDs vertraut. Hilfreich ist dabei die Wikipediaseite [http://de.wikipedia.org/wiki/Compact\\_Disc](http://de.wikipedia.org/wiki/Compact_Disc).

Da finden die Lernenden u.a. folgende Information zur Datencodierung:

„Die Informationsträger sind ... kleine Vertiefungen, die sogenannten „Pits“ und „Lands“, ..., die unterschiedlich lang sind und so konzipiert wurden, dass sie mit Hilfe eines Laserstrahls ausgelesen werden können. Der Wechsel von „Pit/Land“ bzw. „Land/Pit“ bildet eine 1, gleich bleibende Struktur „Land/Land“ oder „Pit/Pit“ eine 0. Daraus folgt, dass keine Darstellung von zwei aufeinander folgenden 1en möglich ist. Daher ist eine Umkodierung notwendig, welche mit der 8 to 14 Modulation erreicht wird.“

Aus diesen und weiteren Angaben wird ersichtlich, dass für 1 Byte Datenspeicherung 14 Kanalbit an Informationen benötigt werden.

Als nächster Schritt folgt die AFM-Messung. Als Messprobe dient der CD-Masterstamper (800 MB Speicherkapazität), d.h. die Original-Metallscheibe, die als Vorlage für die spritzgeprägten Polycarbonatscheiben dient.

Die Lernenden führen die Messung selbständig oder unter Anleitung durch, sie bestimmen die für die Berechnung benötigten Parameter (die EasyScan-Software bietet die nötigen Tools), wie Minimalpitlänge und Spurbreite (siehe Tabelle 3). Aus der Spurbreite  $d$  lässt sich einfach die Gesamtpurlänge  $L$  bestimmen.

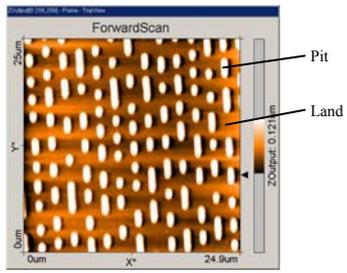
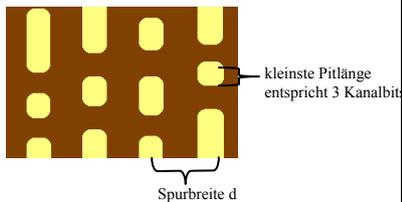
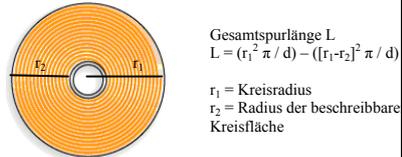
CD-Master	
AFM-Messbild des CD-Masterstamper (Aufsicht) (Bildquelle: NANO-4-SCHOOLS)	
Scan-Range	24.9 x 24.9 µm
z-Range	0.488 µm
	 
Gemessene kleinste Pitlänge (besteht aus 3 Kanalbits)	1.35 µm = 0.45 µm / Kanalbit
Gemessene Pithöhe ( $\Delta z$ )	0.25 µm
Gemessene Spurbreite	1.85 µm
Geschätzte Gesamtkanalbitzahl	Bei einer berechneten Gesamtpurlänge von 4.8 km / CD entspricht dies einer Gesamtkanalbitzahl von $1.07 \times 10^{10}$ Kanalbits / CD
Geschätzte Speicherkapazität	1 Byte benötigt 14 Kanalbit $7.63 \times 10^8$ Bytes = 763 MB
Speicherkapazität	800 MB (nach Angaben des Herstellers)

Tabelle 3: Bestimmung der CD-Speicherkapazität

Wenn wir gemäss unseren Messungen (Tab. 3) annehmen, dass die von uns gemessene Minimalpitlänge (1.35 µm) aus 3 Kanalbit besteht (Informati-

onseinheit 101), benötigt 1 Kanalbit also ein Drittel der Minimalpitlänge. Aus dieser Kanalbitlänge (0.45 µm) können wir die total Kanalbit / CD berechnen: Gesamtpurlänge ( $4.8 \times 10^9$  µm) geteilt durch Kanalbitlänge (0.45 µm) ergibt  $1.07 \times 10^{10}$  Bits. Diese Zahl dividiert durch 14 (eight to fourteen Modulation) ergibt die Anzahl Bytes / CD ( $7.63 \times 10^8$  B), die einfach in Megabytes (MB) umgerechnet werden kann (763 MB). Dieser von uns ermittelte Wert unterscheidet sich nur unwesentlich von den Angaben des Herstellers zur theoretischen Speicherkapazität (800 MB).

#### 4. Resultate

##### 4.1 Ergebnisse der Unterrichtsevaluation

Eine Mehrheit der Berufslernenden ist sehr zufrieden mit dem Nanotechnologieunterricht. Auf die Frage „Mit dem Unterricht bin ich zufrieden“ antworteten 26% der Befragten mit „stimme völlig zu“, resp. 48% mit „stimme eher zu“ (Gesamtmittelwert: 3.88 auf einer Skala von 1 – 5).

Die Ergebnisse zur Befragung der didaktischen Qualität des Unterrichts wurden in einem – von uns so genannten – Stärken-/ Schwächenprofil näher aufgeschlüsselt. Zu diesem Zweck wurden zuerst alle Antworten in den Fragebögen mit 1 (stimme gar nicht zu) bis 5 (stimme völlig zu) codiert, dann wurden daraus die Mittelwerte bestimmt und nach folgenden Kriterien abgestuft:

Mittelwert $\leq 3.4$	Kriterium genügend erfüllt	⊕
Mittelwert $>3.4 < 3.8$	Kriterium mittel bis gut erfüllt	⊕⊕
Mittelwert $\geq 3.8$	Kriterium gut bis sehr gut erfüllt	⊕⊕⊕

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der abgestuften Mittelwerte aus den Fragen zur didaktischen Qualität der Unterrichtseinheiten (Stärken-/ Schwächenprofil).

Bereiche	Kriterien	Erfüllung der Kriterien	
1 Ziele	1. Transparenz	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕
	2. Schwerpunkte	mittel bis gut	⊕⊕
	3. Bedeutsamkeit	mittel bis gut	⊕⊕
2 Inhalte	1. praxisnah	genügend	⊕
	2. problemorientiert	mittel bis gut	⊕⊕
	3. exemplarisch	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕
	4. fächerverbindend	genügend	⊕
	5. an Vorwissen anknüpfend bzw. zielgruppengerecht	mittel bis gut	⊕⊕
3 Methodik	1. Wechselnder Lernrhythmus	mittel bis gut	⊕⊕
	2. mehrdimensionale Begegnung mit Lerngegenstand	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕
	3. schüler- und handlungsorientiert	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕
	4. Kooperationen ermöglichend	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕
4 Medien / Lehrmittel	1. Einfachheit	} gut bis sehr gut	⊕⊕⊕
	2. Gliederung/Ordnung		
	3. Kürze/Prägnanz		
	4. anregende Stilmittel		
- Engagement / Vorbereitung Lehrperson	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕	
- Spezifisches: Messen mit dem AFM-Mikroskop	gut bis sehr gut	⊕⊕⊕	

Tabelle 4: Didaktische Qualität der Unterrichtseinheiten (Stärken-/ Schwächenprofil)

Die entwickelten Unterrichtseinheiten weisen für den Bereich *Ziele* einen mittleren Erfüllungsgrad auf: Viele Berufslernende äußerten sich diesbezüg-

lich zwar zufrieden, aber einigen fehlten doch die Klarheit bei den formulierten Zielen bzw. ein roter Faden. Die Schwerpunkte wären nur zum Teil nachvollziehbar, und die Struktur und Systematik der Unterrichtseinheiten könnten noch verbessert werden.

Beim zweiten Bereich *Inhalte* fanden zwar viele Lernende, dass diese niveaugerecht vermittelt wurden, dass aber ein Bezug zur praktischen Tätigkeit im Lehrbetrieb fehle und eine Verbindung zu bestehendem Wissen und zu anderen Fächern nicht immer möglich sei (Abb. 3).

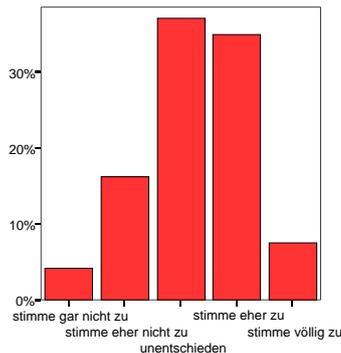


Abbildung 3: Beantwortung der Frage „Die Zusammenhänge zu anderen Fächern sind ersichtlich“

*Unterrichtsmethodisch* wiesen die erarbeiteten Unterrichtseinheiten das angestrebte didaktische Niveau auf. Die Berufslernenden setzten sich mit dem neuen Stoff über verschiedene Lernphasen hinweg auseinander. Einher mit einem wechselnden Lernrhythmus ging eine mehrdimensionale Repräsentation des Lernstoffes. Ebenfalls waren die Unterrichtseinheiten so gestaltet, dass sie kooperatives Verhalten der Lernenden integrierten und stark handlungsorientiert waren. Die eingesetzten *Medien* wurden als nützlich beurteilt (Rupf, et al., 2005).

Sehr hohe Zustimmungswerte bezüglich Schüler- und Handlungsorientierung erhielt die Arbeit mit dem Rasterkraftmikroskop (AFM). Die meisten Lernenden waren fasziniert von diesem Instrument, welches einen Blick in die Nanowelt ermöglicht. 77% der Befragten beantworteten die Frage „Das Messen mit dem Rasterkraftmikroskop war langweilig“ mit „stimme gar nicht zu“ oder „stimme eher nicht zu“.

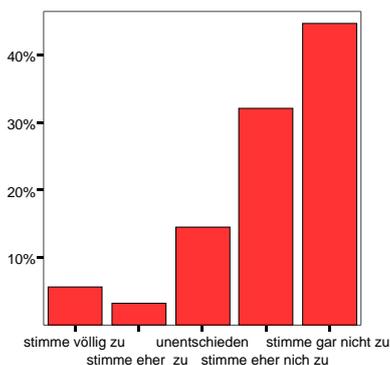


Abbildung 4: Beantwortung der Frage „Das Messen von Proben mit dem AFM Mikroskop war langweilig“

Gemäss diesen Resultaten wirkt die Arbeit mit dem AFM-Gerät offenbar stark motivierend, insbesondere, wenn durch die Wahl der zu messenden Proben ein Bezug zur Berufspraxis hergestellt werden kann. Weniger entscheidend ist, ob das zu untersuchende Objekt (z.B. CD-ROM) wirklich ein Objekt aus der Nano- oder aus der Mikrotechnologie ist.

Die Lernenden waren auch fasziniert von anderen praktischen Zugängen zum Thema. Als besonders beeindruckende Beispiele wurden mehrmals genannt: Demonstration des Lotuseffekts am Lotusblatt und am Textilgewebe (z.B. Nano-Sphere, Firma Schöller; vgl. <http://www.nano-sphere.ch>) und die Herstellung von Grätzel-Farbstoffsolarzellen.

Die Lernenden wurden auch zum aufgebauten Wissen befragt. Gemäss einer subjektiven Einschätzung fühlten sich drei Viertel der Berufslernenden in der Lage, Nanotechnologie mit Anwendungsbeispielen zu erklären (siehe oben), einen verständlichen Größenvergleich zu nennen oder die Funktionsweise des Rasterkraftmikroskops zu erklären.

Eine detaillierte Zusammenstellung der Evaluationsergebnisse (inklusive Fragebogen) gibt das Dokument „Nanotechnologie in der Berufsbildung. NANO-4-SCHOOLS. Eine Projektbilanz“ (Rupf et al., 2005).

#### 4.2 Persönliche Erfahrungen

Die Unterrichtseinheiten sind am wirkungsvollsten, wenn eine Verknüpfung mit der beruflichen Alltagswelt der Lernenden gelingt. Hier sieht das Projektteam noch Handlungsbedarf. Die Projektarbeit hat sich bisher praktisch ausschliesslich auf den Berufsschulunterricht beschränkt. Es scheint sinnvoll, auch vermehrt die Zusammenarbeit mit Lehrbetrieben zu suchen und auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene, praxisnahe Ausbildungsangebote zu gestalten.

Handlungsbedarf sieht das Projektteam auch bezüglich Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Berufsschullehrpersonen. Weiterbildungsangebote zum Thema Nanotechnologie werden von NANO-4-SCHOOLS weiterhin durchgeführt und stehen allen interessierten Berufsschullehrpersonen offen. Ein Schwerpunkt wird in der Zusammenarbeit von Allgemeinbildenden- und Fachlehrkräften gesetzt. Es scheint uns wichtig, die fächerverbindende Zusammenarbeit der Lehrpersonen zu fördern. Durch die gemeinsame Planung von Unterricht wird es eher möglich, neben fachspezifischen auch gesellschaftlich relevante Fragestellungen dieser neuen Technologie in den Unterricht zu integrieren (z.B. die Risikodiskussion).

Hinsichtlich Informationsmöglichkeiten und didaktischen Materialien ist es für die Lehrpersonen wichtig, sich möglichst schnell ein Bild über die bestehenden Angebote machen zu können. Zu diesem Zweck wird die NANO-4-SCHOOLS-Internetseite laufend aktualisiert und ausgebaut (vgl. <http://www.nanoforschools.ch>).

## 5. Diskussion

„Verlieren wir nicht die Bodenhaftung, wenn wir uns mit diesem Thema beschäftigen?“ Diese berechtigte Frage eines Fachlehrers steht stellvertretend für häufig geäußerte Bedenken.

Die während der Projektarbeit gemachten Erfahrungen zeigen, dass es sich durchaus lohnt, aktuelle und komplexe Fragestellungen aus einem anspruchsvollen Technologiebereich auf der Stufe Berufsfachschule zu behandeln und dabei auch die Lernenden aktiv am Unterricht zu beteiligen. Ein bereits recht vielfältiges Angebot an bestehenden Unterrichtsmaterialien zum Thema Nanotechnologie erleichtert dabei die Vorbereitung für die Lehrpersonen.

Die Attraktivität liegt einerseits in der Aktualität des Themas, „alter“ Schulstoff (z.B. Kolloidchemie) kann in ein „neues Kleid“ gepackt und mit aktuellen Anwendungen verknüpft werden (Nanochemie) und gewinnt damit an Relevanz (Heinzerling, 2006). Zum anderen erschliessen die nanotechnologischen Werkzeuge (Rastersondenmikroskope) eine bisher weitgehend verborgene Dimension. Plötzlich wird es möglich Atome zu sehen und uns ein Bild dieser Dimension zu machen. Sehen heisst begreifen, dieses einfache Prinzip gilt im Besonderen für die Nanodimension, auch wenn es sich bei den „Abbildungen“ um eine konstruierte Wirklichkeit handelt.

Viele positive Rückmeldungen seitens der Lernenden betrafen insbesondere die Arbeit mit dem AFM. Es erstaunt nicht, dass dieses Hightech-Gerät die Jugendlichen fasziniert. Auch wenn damit der vielgeäußerte Wunsch nach dem Sichtbarmachen von Atomen nicht erfüllt werden kann, wird mit dem Instrument ein Blick in eine neue Dimension möglich. Der Umgang mit unserem AFM-Mikroskop bereitet den Lernenden kaum Schwierigkeiten. Nach ersten vorsichtigen Versuchen unter Anleitung entdecken sie die Möglichkeiten des Gerätes schnell und beginnen Ideen bezüglich Einsatzmöglichkeiten zu entwickeln.

Als weitergehende Projektarbeit könnte z.B. der selbständige Zusammenbau eines Rasterkraftmikroskops durch Berufslernende in Betracht gezogen werden. Ein solches Projekt ist tatsächlich in Planung. Die Universität Münster beabsichtigt, einen Bausatz für ein Rasterkraftmikroskop anzubieten (<http://sxm4.uni-muenster.de/introduction-de.html>).

Unter der gleichen Internetadresse können bereits Komponenten zum Nachbau eines Rastertunnelmikroskops (STM) bestellt werden (Piezoelemente, Feintriebsschrauben, Metallteile, usw.). Hier finden sich auch alle notwendigen Angaben zum Aufbau der Elektronik (Schaltpläne, Software), Mechanik und der Herstellung der Messspitzen. Ein Nachbauversuch mit Lernenden ist bei uns angelaufen. Die Arbeiten sind zeitintensiv und nur dank dem grossen Engagement aller Beteiligten möglich. Erste Messresultate erwarten wir anfangs 2007.

Ähnlich wie andere Technologien (z.B. Informationstechnologie), wird die Nanotechnologie unseren Alltag verändern. Damit werden auch unsere Bildungssysteme gefordert. Neue Technologien bedingen und befruchten sich gegenseitig. Darstellung und Manipulation von Nanoobjekten sind ohne Nutzung moderner Medien nicht denkbar. Das Thema fördert eine problemgerechte Einbindung dieser Medien in den Unterricht (Welz, 2005) und damit einen zeitgemässen naturwissenschaftlichen Unterricht.

An dieser Stelle sei Olivier Mercier (Projektleitung) und Marianne Rupf (Evaluation) für die geleistete Arbeit am Projekt NANO-4-SCHOOLS herzlich gedankt.

## 6. Literatur

- Abi (2005). Kleinigkeiten mit großer Wirkung. *abi Berufswahlmagazin*. 10 (2005). 14-19 (Download: <http://www.abimagazin.de/rubrik/schwerpunkt200510.jsp>)
- Abicht, L., Schlicht, E., Schumann, U. (2005). *Trendqualifikationen in der Nanotechnologie, Schlussbericht*. Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung GmbH (isw). (Download: <http://www.isw-institut.de/nano/>)
- BBT (2005). *Berufsbildung in der Schweiz 2005, Fakten und Zahlen*. Bern: Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT).
- Bernhart, C. (2005). Vom Mikroskop zum vielseitigen Werkzeug. In: *Swiss Engineering, Schweizerische Technische Zeitung STZ*, 5/2005, 64-68. (Download: <http://www.swissengineering-stz.ch/pdf/stz052005950.pdf>)
- Cerman, Z., Stosch, A.K., Barthlott, W. (2004). Der Lotus-Effekt® Selbstreinigende Oberflächen und ihre Übertragung in die Technik. In: *Biologie Unserer Zeit*, Vol.34, Nr.5, Wiley-VCH-Verlag GmbH & Co, 290-296.
- Coradi, M., Denzler, S., Grossenbacher, S., Vanhoydonck, S. (2003). Keine Lust auf Mathe, Physik, Technik? *Trendbericht SKBF* Nr. 6. Aarau: Schweizerische Koordinationsstelle für Bildungsforschung (SKBF).
- Haenger, P., Vonont, A. (2004). Gen und Geist. Wie halten Sies mit der Gentechnologie? In: *Horizonte*, Schweizerischer Nationalfonds, März 2004, 9-11.
- Heinzerling, P. (2006). *Nanochemie in der Schule. Eine historische experimentelle Annäherung. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 1/55, Januar 2006. Köln: Aulis Verlag Deubner, 32-34.

- Höpken, G., Osterkamp, S., Reich, G. (Hrsg.) (2003). Standards für eine allgemeine technische Bildung, Inhalte technischer Bildung, Neckar Verlag.
- Jopp, K. (2003). Nanotechnologie – Aufbruch ins Reich der Zwerge. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH.
- Knopp, K. (2005). Nanotechnologie: Grosse Zukunft für kleine Dinge. In: bulletin spezial, Credit Suisse, Juni 2005, 8-15 (Download: [http://emagazine.credit-suisse.com/data/product\\_documents/shop/99506/Bulletin\\_Spezial\\_Technologie\\_d.pdf](http://emagazine.credit-suisse.com/data/product_documents/shop/99506/Bulletin_Spezial_Technologie_d.pdf)).
- Labudde, P. (2003): Fächer übergreifender Unterricht in und mit Physik: Eine zu wenige genutzte Chance. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 1 / 2, 48-66.
- Nanotechnologie und Schule e.V. (2005). Faszination Nanowelten, Tipps für den Unterricht. Köln: Aulis Verlag Deubner (Bestellung unter: <http://www.nano-ev.de>).
- Rupf, M., Vonlanthen, M., Hoffmann, P., Höhener, K., Labudde, P., Mercier, O., Scandella, L., Wild-Näf, M. (2005). Nanotechnologie in der Berufsbildung. NANO-4-SCHOOLS. Eine Projektbilanz. Zollikofen: Schweizerisches Institut für Berufspädagogik. (Download: <http://www.nanoforschools.ch> Rubrik Publikationen)
- Schallies, M. (1999). Biotechnologie und Gentechnik – Implikationen für das Bildungswesen. In: Schallies, M., Wachlin, K. D. (Hrsg.) Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen. Berlin: Springer, 25-37.
- Schären, B. (2005). In: Binggeli *et al.*, Fächerübergreifender Unterricht in der Berufsbildung (SIBP Schriftenreihe Nr. 28). Zollikofen: Schweizerisches Institut für Berufspädagogik, 5-8. (Download: <http://www.sibp.ch> unter der Rubrik Forschung und Entwicklung)
- De Senarclens, M. (2005). Ein Plädoyer für die Zukunft: Technikverständnis als Teil der Allgemeinbildung. In: zhwinfo, Zürcher Hochschule Winterthur, Nr. 25, Juni 2005, 23-26.
- Welz, W. (2005). Faszination Nanotechnologie. Ein Angebot für aktuellen interdisziplinären naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Faszination Nanowelten, Tipps für den Unterricht. Köln: Aulis Verlag Deubner, 3-7.

**Internetseiten:**

Alle Zugriffe: Dezember 2006