

## Das neue *milq* Quantenphysik in der Schule

Thomas Dammaschke\*, Rainer Müller\*, Alexander Strahl\*

\*TU Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften IFdN,  
Abteilung Physik und Physikdidaktik, Pockelsstr. 11, 38106 Braunschweig;  
<http://www.ifdn.tu-bs.de/>

### Kurzfassung

Die seit 2001 im Internet existente Plattform *milq* zur Quantenphysik, deren Ziel es ist, das komplizierte Thema verständlicher zu machen, wird an der TU Braunschweig im Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften (IFdN), Abteilung Physik und Physikdidaktik überarbeitet und erweitert. Ein Beispiel für die inhaltliche Erweiterung ist die Neugestaltung einer Blended-E-Learning-Unterrichtseinheit zur Quantenphysik in der Sekundarstufe II. Das Konzept entspricht dabei einer Modulbauweise, die einen flexiblen Einsatz nach den Erfordernissen und Bedürfnissen der Lehrkräfte ermöglicht und sich in seiner Methodik nach den Kompetenzen des Kerncurriculums richtet.

In diesem Beitrag wird zunächst kurz auf das Internetportal *milq* und seine Neuerungen eingegangen, um dann etwas ausführlicher die Unterrichtseinheit zu besprechen.

### 1. Was ist *milq*?

Das Internetportal *milq* ist eine Plattform zur Fortbildung in Quantenphysik auf der Basis des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenphysik. Sie steht etwa seit dem Jahre 2001 online zur Verfügung und wurde maßgeblich von R. Müller und H. Wiesner am Lehrstuhl für Physikdidaktik der LMU München entwickelt.

*milq* dient Lehrkräften, Studierenden, Interessierten und nicht zuletzt Schülerinnen und Schülern dazu, die Quantenphysik begrifflich und vor allem qualitativ im Verständnis näher zu bringen. Der komplexe mathematische Formalismus wird bewusst eingeschränkt. Eine ausführliche Beschreibung liegt in [1] vor.

### 2. Was ist neu an *milq*?

Das bisherige *milq* befindet sich noch immer unter der alten Adresse [2] im Internet, das neue Portal, das zur Zeit in Braunschweig überarbeitet wird, steht auf der Seite <http://milq.tu-bs.de/> [3]. Das vorläufige Design ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Navigationsleiste ist etwas übersichtlicher geworden und besteht aus den Hauptmenüpunkten *Der Lehrgang*, *Die Materialien*, *Die Spezialgebiete* und *Die Unterrichtseinheit*.

#### 2.1. Der Lehrgang

An der bewährten Struktur des Lehrgangs hat sich grundsätzlich wenig geändert, er besteht nach wie vor aus 13 Kapiteln, die sich unterteilen in den qualitativen Basiskurs der ersten sieben Kapitel und den quantitativen Aufbaukurs ab Kapitel 8.

Die wesentlichsten Ziele des *milq*-Konzepts sind:

- dass die Interpretationsfragen der Quantenphysik im Vordergrund stehen,
- eine klare Abgrenzung zur klassischen Physik, schon um falschen Schülervorstellungen entgegenzuwirken,
- die Förderung eines qualitativen Verständnisses der Quantenphysik durch die Bereitstellung klarer Begriffe,
- ein konsequenter Bezug zur Born'schen Wahrscheinlichkeitsinterpretation,
- die Herausarbeitung der Besonderheiten des quantenmechanischen Messprozesses.

Im quantitativen Aufbaukurs geht es insbesondere um eine Hinführung zum Formalismus über die Schrödingergleichung, dem Potentialbegriff, dem Tunneleffekt und dem Wasserstoffatom. Inhaltlich werden die traditionellen Themen der Quantenphysik in der Schule behandelt: Photoeffekt, Elektronenbeugung, Quanteninterferenzen, Messprozesse, Unbestimmtheitsrelation, Schrödingergleichung, Potentialtopfmodell und Wasserstoffatom. Auf die problematischen Begriffe des Welle-Teilchen-Dualismus sowie des bohrschen Atommodells wird zugunsten der Interpretation über Wahrscheinlichkeitswellen (Max Born) bewusst nicht näher eingegangen (vgl. hierzu auch [1], Kapitel 2, S. 41ff).

#### 2.2. Die Materialien

In den Materialien finden sich nicht nur vielfältige Hintergrundinformationen zu einzelnen thematischen Aspekten des Lehrgangs im direkten Zugriff,

Abb. 1: Die Startseite des Braunschweiger *milq*

sondern auch Arbeitsblätter zum Unterrichtseinsatz sowie das ausführliche und umfangreiche Skript und die verwendeten Simulationsprogramme zum Download.

### 2.3. Die Spezialgebiete

Die Spezialgebiete enthalten weiterführende, ergänzende und moderne Themen der Quantenphysik und der Didaktik der Quantenphysik wie z. B. Quantenkryptografie, Quantenspiele, Quantenteleportation. Weitere Aufsätze zu Schülervorstellungen, Zeigerformalismus, Quantengravitation u.a.m. sollen folgen.

### 3. Die Unterrichtseinheit

Die neu entworfene Unterrichtseinheit soll helfen, die Quantenphysik konkret im Unterricht umzusetzen. In ihrer inhaltlichen Konzeption orientiert sie sich deshalb am qualitativen Basiskurs des *milq*-Lehrgangs, allerdings unter Berücksichtigung greifbarer unterrichtspraktischer Vorgaben.

#### 3.1. Voraussetzungen

Die bildungstheoretischen Voraussetzungen für die Unterrichtseinheit ergeben sich aus dem Kerncurriculum Physik für die Oberstufe<sup>1</sup> und aus den EPA (Einheitliche Prüfungsanforderungen für das Abitur [5]). Konkret müssen für den Einsatz dieses Konzepts Computerarbeitsplätze mit Internetzugang

für jeweils zwei Lernende des gesamten Kurses bereitgestellt werden. Jedes Modul erfordert zudem noch ggf. grundlegendes Fachwissen, z. B. für das Modul1 die vorherige Behandlung der Wellenoptik einschließlich der Bragg-Reflexion bei Röntgenstrahlung.

Das Konzept bedarf einer gewissen Flexibilität, damit die Unterrichtseinheit vielseitig einsetzbar bleibt, immerhin soll sie sich sowohl an fachspezifische schuleigene Lehrpläne anpassen lassen als auch an die Bedürfnisse der Lehrkräfte sowie im Idealfall an die jeweiligen Landescurricula. Die inhaltlichen Themen sind deshalb in Modulen zusammengefasst, die diese Anpassungsfähigkeit gewährleisten sollen. Obwohl natürlich gewisse Voraussetzungen zur Bearbeitung der einzelnen Module vorhanden sein müssen, ist eine strenge Abfolge nicht notwendig. Zur Zeit existieren drei Module:

1. Elektronen und Photonen als Quantenobjekte mit den Standardversuchen Elektronenbeugung und Photoeffekt als Simulation bzw. IBE (interaktives Bildschirmexperiment).
2. Quanteninterferenz an Doppelspalt- und Mach-Zehnder-Interferometer-Simulationen.
3. Welcher-Weg-Simulationen und Messprozessbesonderheiten.

Weitere Module sollen folgen, z. B. zur Unbestimmtheitsrelation und zum Potentialtopfmodell.

<sup>1</sup> Hier vor allem der Vorlage aus Niedersachsen. Das Kerncurriculum Physik in Niedersachsen tritt offiziell am 01. August 2010 in Kraft. Vgl. [4]

### 3.2. Unterrichtsmethodik

Das Konzept beruht auf der grundlegenden Arbeitsform eines modifizierten E-Learnings mit anschließenden Plenumsdiskussionen und/oder sonstigen Präsentationen, damit ist es eine Form des *Blended Learnings* (vgl. dazu z. B. [6]). Vor allem die Selbständigkeit der Bearbeitung durch die Schülerinnen und Schüler auf der Basis einer gemäßigten konstruktivistischen Lerntheorie soll im Vordergrund stehen.

Es werden strukturierte Online-Aufgaben in Partnerarbeit anhand diverser (Standard-) Aufgaben-Typen, die sich an den EPA-Operatoren [5] orientieren, bearbeitet. Oft, jedoch nicht immer, geschieht dies mittels geeigneter Simulationen. Aber auch metakognitive Aufgabentypen wie z. B. die der Wissensstrukturierung dienenden Concept-Maps, die z. B. in einem Portfolio gesammelt werden könnten, finden ihren Platz (vgl. dazu z. B. [7]). Advance Organizer, Merktexthe, Zusammenfassungen und vereinzelt gestufte Hilfen und allgemeine Lösungsvorschläge zu den Aufgaben dienen der Lerneffektivität und der Selbstkontrolle. Stetige Verweise zum *milq*-Lehrgang, auf andere Internetquellen oder auf das eingeführte Lehrbuch fördern ein individuelles Lernen.

Ein wesentliches Element in dieser Methodik ist die konsequente Partnerarbeit, die eine erhöhte inhaltliche Kommunikation ermöglicht, damit sich Selbstsicherheit im fachsprachlichen bzw. fachkommunikativen Bereich ausbildet, die letztlich zu einer Erhöhung der Selbstwirksamkeit und des Selbstkonzepts beiträgt. Dazu gehören kurze Wissenstests am Ende eines Moduls und von den Teams für das Plenum selbstentwickelte Fragen bzw. Aufgaben.

Gemäß der üblichen Vorteilsbeschreibung von E-Learning könnten alle Modulaufgaben zwar zeitlich und örtlich individuell bearbeitet werden, sollten aber vor allem aufgrund der Kommunikationsintention während der regulären Schulzeit Einsatz finden.

Neben dieser ersten Selbst- bzw. Partnerevaluation besteht eine zweite (Selbst-) Evaluationsphase darin, dass sich die einzelnen Gruppen spätestens am Ende eines Moduls im Plenum treffen und sich gegenseitig ihre Ergebnisse präsentieren. Die Plenumsphase kann aber auf Initiative der Lehrkraft oder des Kurses hin auch früher erfolgen. Das Besondere an dieser zweiten Evaluationsstufe ist die Funktion sowohl des Kurses als auch der Lehrkraft als Lernhelfer und Korrektor. In dieser Phase stellen die einzelnen Teams wechselweise ihre Ergebnisse vor. Die Moderation übernimmt jeweils eine andere Partnergruppe. Es schließt sich eine Diskussion an, die von den selbst erarbeiteten Fragen/Aufgaben (s.o.) ergänzt werden sollte. Darüber hinaus sind an dieser Stelle Exkurse möglich, z. B. Korrekturen und Ergänzungen durch die Lehrkraft, Realexperimente,

die Besprechung anderer Aufgaben (z. B. aus dem Lehrbuch), weiterführende Referate, Filme, Bilder oder andere Simulationen aus Fundstellen des Internets, Bezüge zum *milq*-Lehrgang oder sonstiges.

Zusammengenommen ergibt dies ein Modell des Blended-(E-)Learnings oder auch integrierten Lernens, das im Allgemeinen dadurch charakterisiert wird, dass sich verschiedene Methoden bzw. Sozialformen abwechseln, hier also E-Learning-Phasen in Partnerarbeit und Präsenzveranstaltungen mit der gesamten Gruppe.

### 3.3. Ziele

Neben anderen Modellen, die vor allem die inhaltsbezogenen Kompetenzen abdecken, ist neu an diesem Konzept, dass die Betonung auf den prozessbezogenen Kompetenzen liegt, die insbesondere durch die selbständige und partnerbezogene bzw. gruppenbezogene Bearbeitung erreicht werden sollen. Am Kompetenzbereich Kommunikation ist dies am deutlichsten zu sehen: Die Schülerinnen und Schüler üben sich in Strukturierung, Darstellung, Fachsprache und Kommunikation zunächst relativ ungezwungen untereinander ohne die Lehrkraft, um später ihre Erkenntnisse vor dem Plenum zu präsentieren. Dabei müssen sie ihre Ergebnisse auch dokumentieren, z. B. in Form eines schon erwähnten Portfolios, das sich hier anbietet (s. 3.2).

Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ist den Aufgabenstellungen inhärent: Argumentieren, Probleme lösen, Daten auswerten, Mathematisieren, mit Modellen arbeiten und Erkenntniswege der Physik beschreiben. Experimente (Kompetenz *Experimentieren*) liegen zwar „nur“ als Simulationen vor, können aber auf diesem Wege auch kritisch hinterfragt werden (Kompetenzen *Erkenntnisgewinnung* und *Bewertung*). In den Gruppendiskussionen wird es notwendig, Bewertungen über die Modelle und Lösungswege vorzunehmen.

So können im Idealfall neben den geforderten Inhalts- und Prozesskompetenzen durch das Selbsthandeln und die vorwiegend passive Haltung der Lehrkraft, Selbständigkeit, Selbstwirksamkeit, soziale Interaktion und hoffentlich Motivation bei Schülerinnen und Schülern gefördert werden. Die Lehrkraft steht für die Partnerteams bereit, um bei Problemen eingreifen zu können und fördert so das selbstgesteuerte Lernen. Darüber hinaus kann sie ihre diagnostischen Fähigkeiten ausbauen. Nicht zuletzt kann dieses Konzept eine gewisse Arbeitsentlastung im Bereich der Unterrichtsvorbereitung bedeuten.

### 4. Ausblick

Um zu evaluieren, ob diese Zielsetzungen erreichbar sind, bietet sich der Forschungsansatz des Design-Based-Research an. Vereinfacht bedeutet das, dass die Praxistauglichkeit dieses Konzepts mehrfach in den Schulen empirisch getestet werden soll [8].

Nach jeder Test-Rückmeldung ist ggf. die Unterrichtseinheit zu modifizieren, damit sich das Konzept besser an die Bedürfnisse angleichen lässt.

Eine erste Testphase ist bereits in Braunschweig mit fünf Physikkursen des 13. Jahrgangs durchgeführt worden und hat z. B. ergeben, dass das Modell gut anläuft. Der Schwierigkeitsgrad der Fragestellungen sei angemessen, die Partnerarbeit und die Simulationen wurden überwiegend positiv aufgenommen. Allerdings gab es auch Probleme bei der Evaluation durch den Fragebogen (Schwierigkeiten bei Validität und Reliabilität einiger Items) und auch bei der Durchführung des Konzepts, da einige Lehrkräfte die Module als Wiederholung anwendeten, was natürlich möglich, aber in der Testphase eher ungünstig ist.

Gemäß dem Design-Based-Research Ansatz, sind die Module und der Fragebogen zu überarbeiten, damit das Konzept in einer zweiten Evaluationsphase mit Prä-Post-Test und Vergleichsgruppen analysiert werden kann.

## 5. Literatur

- [1] Müller, Rainer (2003): Quantenphysik in der Schule. Berlin: Logos.
- [2] Bisherige URL der milq-Homepage: <http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/> (Stand: 05/2010)
- [3] Neue URL des milq-Portals: <http://milq.tu-bs.de/> (Stand: 05/2010)
- [4] Niedersächsisches Kultusministerium (Hg) (2009): Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe. Physik. - Hannover Unidruck. Siehe auch als pdf-Datei auf dem Niedersächsischen Bildungsserver (NIBIS): <http://www.cuvo.nibis.de> (Stand 05/2010)
- [5] KMK (2004): Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004. Siehe auch auf der Homepage der KMK als pdf-Datei (Stand 05/2010): <http://www.kmk.org/dokumentation/veroeffentlichungen-beschluesse/bildung-schule/allgemeine-bildung.html>
- [6] Girwitz, Raimund (2009): Mediendidaktik zum E-Learning im Physikunterricht. In: Nordmeier, V. (Hrsg.): Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule. E-Learning. Heft 7/58 (10/2009). - Freising: Aulis. S. 5-13
- [7] Mandl, Heinz; Friedrich, Helmut Felix (2006): Handbuch Lernstrategien. Göttingen: Hogrefe.
- [8] Reinmann, Gabi (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr- Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung. 33. Jahrgang (2005), Heft 1, S. 52-69.