

Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik: erste empirische Ergebnisse

Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik ist ein neuer Unterrichtsvorschlag, in dem die begrifflichen Aspekte der Quantenphysik im Mittelpunkt stehen. Ein adäquates Verständnis der „Merkwürdigkeiten“ der Quantenphysik soll durch die Einführung geeigneter Begriffe wie „Präparation“ und „dynamische Eigenschaft“ erleichtert werden. So wird z. B. die Bornsche Wahrscheinlichkeitsinterpretation von Anfang an konsequent verwendet, um dem Welle-Teilchen-Dualismus die Aura des Geheimnisvollen und Unverständlichen zu nehmen. Hier und bei der Diskussion des quantenmechanischen Messprozesses wird ausgiebig mit Simulationsprogrammen (Doppelspalt, Mach-Zehnder-Interferometer) gearbeitet.

Bei der Entwicklung des neuen Unterrichtskonzept wurde versucht, die bekannten Lernschwierigkeiten im Bereich der Quantenmechanik zu berücksichtigen. Das Bohrsche Atommodell wird zwar nicht ganz aus dem Kurs ausgeklammert, es wird aber von Anfang an auf seine Überwindung durch eine quantenmechanisch angemessenere Vorstellung hingearbeitet (indem etwa gezeigt wird, dass Elektronen im allgemeinen keinen definierten Ort besitzen).

Ein Überblick über die Inhalte des Münchener Unterrichtskonzepts findet man in [1]. Im vorliegenden Aufsatz sollen die ersten Ergebnisse einer empirischen Erprobung des Konzepts vorgestellt werden. Im Schuljahr 1999/2000 wurden drei Klassen (2 Grundkurse, 1 Leistungskurs im 13. bzw. 12 Schuljahr) nach dem Unterrichtskonzept unterrichtet. Der Quantenphysik-Unterricht erstreckte sich über etwa 35-40 Stunden.

Neben dem Lernerfolg wurden bei der Erprobung die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu verschiedenen quantenphysikalischen Sachverhalten erhoben sowie die Veränderung des Interesses durch die Beschäftigung mit der Quantenphysik untersucht.

Die Untersuchung der Vorstellungen erfolgte mit einem Fragebogen, in dem die Schüler(inn)en Aussagen zu verschiedenen quantenphysikalischen Themenbereichen anhand einer Rating-Skala als zutreffend oder unzutreffend beurteilen sollten. Zusätzlich wurden Fragen mit freier Antwortmöglichkeit (z. B. zur Atomvorstellung oder zur Unbestimmtheitsrelation) gestellt. Weiterhin wurde das Interesse am Quantenphysik-Unterricht erhoben und mit dem vorher ermittelten Interesse am Unterricht über Wellenlehre verglichen.

In einem der Kurse wurden gegen Ende der Unterrichtssequenz Interviews durchgeführt, die transkribiert und ausgewertet wurden. Auch hier wurden Lernerfolg und Schülervorstellungen untersucht, vor allem in den Bereichen, die anspruchsvolles Argumentieren verlangen.

Da sich die Lernziele in unserem Unterrichtskonzept deutlich von den traditionell im Quantenphysik-Unterricht verfolgten Zielen unterscheiden, erschien ein Kontrollgruppen-Design der Untersuchung nicht sinnvoll. Um dennoch eine Vergleichsmöglichkeit mit herkömmlich unterrichteten Schülern zu haben, befragten wir Diplom-Physikstudent(inn)en aus dem 2. Semester nach Themen, die uns für ein Grundverständnis der Quantenmechanik essentiell erschienen. Die Fragen auf dem Fragebogen waren dabei die gleichen wie bei den untersuchten Schülern. Natürlich konnte man dabei nicht von der Hypothese gleicher Grundpopulationen ausgehen: Der größte Teil der Studenten hatte einen Physik-Leistungskurs besucht, alle hatten

sich für ein Physikstudium entschieden. Nur diejenigen Studenten wurden berücksichtigt, die angaben, an der Universität noch nichts über Quantenphysik gehört zu haben.

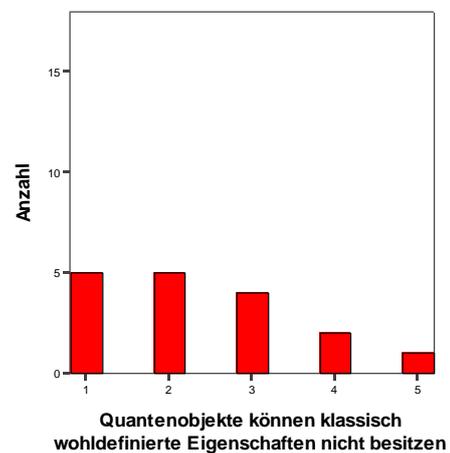
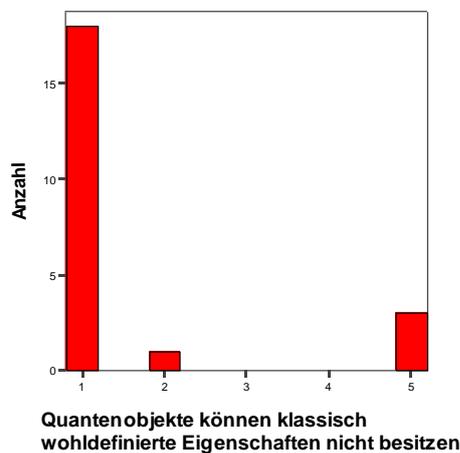
Im folgenden geben wir einige Ergebnisse wieder. Eine ausführlichere Darstellung kann aus Platzgründen in diesem Aufsatz nicht gegeben werden, sie wird in einer anderen Publikation erfolgen.

1. Eigenschaftsbegriff / Nichtbesitzen von Eigenschaften

Beurteilt werden sollte die folgende Aussage, eines der zentralen Lernziele des Münchener Unterrichtskonzepts:

In der Quantenmechanik ist es möglich, dass ein Quantenobjekt klassisch wohldefinierte Eigenschaften wie Ort oder Energie nicht besitzt.

Dabei bedeutet hier und im folgenden auf einer Skala von 1 bis 5 der Wert 1 vollständige Zustimmung, während 5 vollständige Ablehnung ausdrückt. Die Schüler (links) bzw. Studenten (rechts) beurteilten diese Aussage folgendermaßen:



Offensichtlich akzeptiert der überwiegende Teil der nach dem neuen Unterrichtskonzept unterrichteten Schüler diese merkwürdige Aussage der Quantenmechanik. Wie die Auswertung der Interviews zeigt, handelt es sich dabei nicht nur um die Reproduktion von Merksätzen; die Schüler(inn)en konnten begründen, wie man zu dieser Aussage über den quantenmechanischen Eigenschaftsbegriff gelangt.

2. Planetenmodell des Atoms

In vielen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass das Planetenmodell des Atoms eine sehr dominante und tief liegende Schülervorstellung ist. Um zu überprüfen, ob es gelungen ist, ein dem quantenmechanischen Modell ähnlicheres Atommodell zu vermitteln, sollten die Schüler bzw. Studenten ein Atom nach ihren Vorstellungen zeichnen. Sie wurden außerdem aufgefordert, eventuelle Merkmale zu nennen, die sie nicht in die Zeichnung hindeichnen konnten.

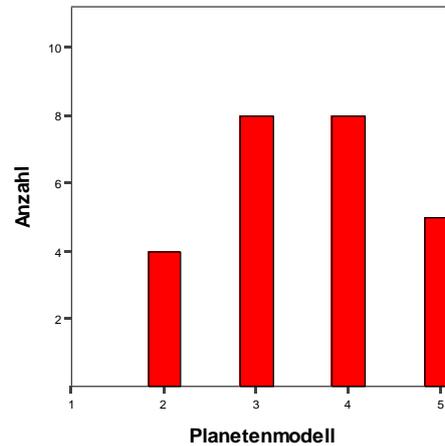
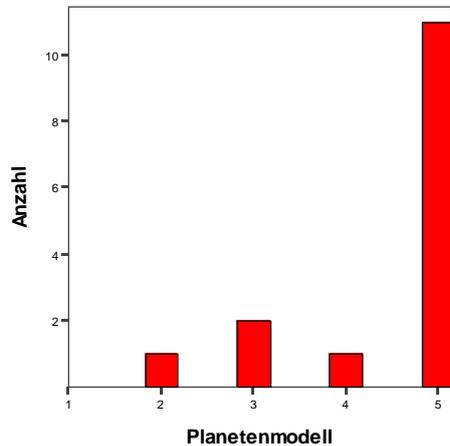
Nahezu alle der nach dem Münchener Unterrichtskonzept unterrichteten Schüler zeichneten ein „Orbitalmodell“, d. h. einen kugelförmigen Bereich, in dem das Elektron zu finden ist. Zum Teil lehnten die Schüler in den schriftlichen Äußerungen das Bohrsche Atommodell explizit ab. Auch bei den Studenten überwog das Orbitalmodell in den Zeichnungen; ein be-

trächtlicher Teil zeichnete aber auch Elektronen auf Bahnen um den Kern (Bohrsches Atommodell).

Als weitere Aufgabe sollte die folgende Aussage beurteilt werden:

Ein Atom hat eine ähnliche Struktur wie das Sonnensystem (Planeten, die die Sonne umkreisen)

Wieder sind die Schülerantworten links, die Studentenantworten rechts veranschaulicht:

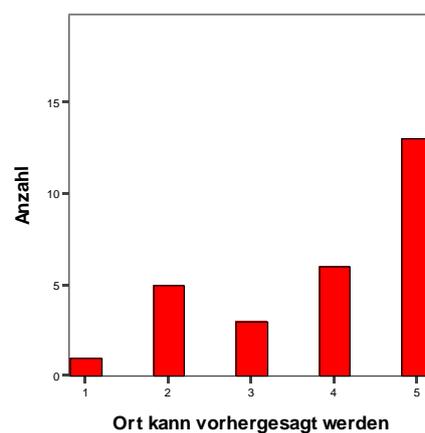
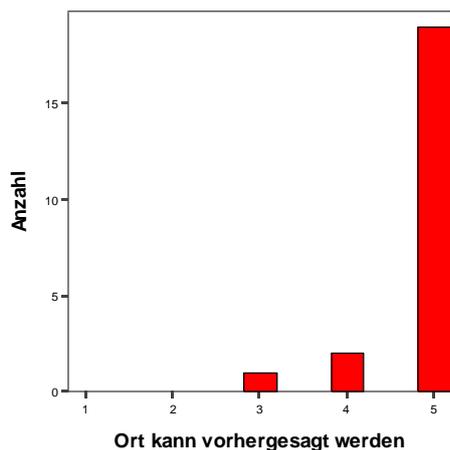


Das Planetenmodell wird von den Schülern stärker abgelehnt als von den Studenten. Schlechter gelang es dagegen offensichtlich, die Energiequantisierung im Atom zu vermitteln.

3. Determinismus / Indeterminismus

Im Zusammenhang mit dem Doppelspaltexperiment sollte beurteilt werden:

Bei ausreichend genauer Kenntnis der Anfangsbedingungen könnte man vorhersagen, wo ein bestimmtes Elektron auf dem Schirm landet.



Der quantenmechanische Indeterminismus, d. h. die Unmöglichkeit der Vorhersage von einzelnen Messwerten, wurde von den Schülern offenbar erfolgreicher gelernt.

[1] R. Müller, H. Wiesner, *Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik*, Physik in der Schule **38** (2000), S. 126; R. Müller, H. Wiesner, *Photonen im Mach-Zehnder-Interferometer – ein Zugang zur Deutung der Quantenphysik*, erscheint in Physik in der Schule (2000).