

## **Vorstellungen von Lehramtsstudenten zur Interpretation der Quantenmechanik – Ergebnisse von Befragungen**

Die vorliegende Untersuchung entstand im Zusammenhang mit der Entwicklung eines neuen Quantenphysik-Lehrgangs für den Schulunterricht, die von uns derzeit an der Universität München durchgeführt wird. Für unser Unterrichtskonzept (das auf Vorschlägen von Wiesner und Engelhardt [1] beruht, s. auch [2]) haben wir den Schwerpunkt auf die neuartigen begrifflichen Fragestellungen gelegt, zu denen die Quantenmechanik führt. Sie stellen für uns das Neue dar, das die Quantenphysik besonders charakterisiert und sie von der klassischen Physik unterscheidet. Wir stellen das folgende Ziel in den Mittelpunkt:

Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, daß Quantenobjekte in Zustände gebracht werden können, in denen sie bestimmte dynamische Eigenschaften nicht besitzen, obwohl man bei einer Messung einen Wert für diese Eigenschaft bekommt. Quantenobjekte können aber auch so präpariert werden, daß sie eine Eigenschaft haben. Die Schüler sollen einsehen, daß die beiden Aussagen „ein Objekt hat die Eigenschaft A“ und „am Objekt wird die Eigenschaft A“ gemessen, die in der klassischen Physik als im wesentlichen gleichwertig angesehen werden, in der Quantenmechanik als grundsätzlich verschiedene Aussagen anzusehen sind.

Ein Konzept, das sich mit solch schwierigen Interpretationsfragen der Quantenphysik beschäftigt, stellt sowohl an die Schülerinnen und Schüler als auch an die Lehrerinnen und Lehrer hohe Ansprüche. Eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Vermittlung der zentralen Inhalte liegt dabei auf Seiten der Lehrer. Sie müssen durch ihre Ausbildung an der Universität ein gewisses Hintergrundwissen über begriffliche Probleme der Quantenmechanik erlangt haben oder sollten zumindest in die Lage versetzt worden sein, sich dieses Wissen selbstständig erarbeiten zu können.

Bisher gibt es erst relativ wenige Untersuchungen, die sich mit Verständnis und Vorstellungen über Quantenphysik beschäftigen. Die meisten der bisherigen Arbeiten [3-9] untersuchen die Vorstellungen von Schülern. Dabei zeigte sich, daß ausgeprägte Verständnisschwierigkeiten in diesem Bereich existieren. Als typische Resultate ergaben sich:

- Der Bahnbegriff wird implizit (teils sogar explizit) weiterbenutzt (vgl. Bohrsches Modell).
- Die Teilchenvorstellung von Elektronen („Kügelchen“) scheint sehr stabil zu sein.
- Quantenobjekte werden als permanent lokalisiert angesehen.
- Dagegen wird die Energiequantelung vorbehaltlos akzeptiert.

Da wir uns aus den genannten Gründen für das Verständnis von *Lehrerinnen und Lehrern* interessieren haben wir Lehramtsstudentinnen und -studenten (in ihrer Rolle als zukünftige Lehrer) zu ihren Vorstellungen über Quanten- und Atomphysik befragt. Eine weitere Motivation für die Studie war, daß sie uns neben einem Einblick in die Verständnisprobleme der Studenten auch Aufschluß über die Schulbezogenheit der Quantenmechanik-Ausbildung an der Universität liefert.

Die Methode der Untersuchung ist die mündliche Befragung (Dauer: ½ – 1 Stunde). Befragt wurden 18 Lehramtsstudent(inn)en (Gymnasium, 6. Semester). Die Interviews wurden transkribiert und anschließend ausgewertet. Sie erstreckten sich über Fragenkomplexe aus dem Bereich der Deutung der Quantenphysik, z. B. über die Vorstellung von Atomen, die Interpretation der Unbestimmtheitsrelation, die Wahrscheinlichkeitsinterpretation, die Deutung des Doppelspalt-Experiments und die Vorstellung von Photonen.

Im folgenden werden wir in summarischer Form, ergänzt um beispielhafte Zitate, die Ergebnisse der Auswertung von zwei Einzelstichpunkten näher diskutieren: der Atomvorstellung und der Frage, ob Elektronen im Atom eine permanente Lokalisierung aufweisen.

## 1. Atomvorstellung.

Frage: Welche Vorstellungen verbinden Sie mit den Zuständen der Elektronen in einem Atom?

a) *Bohrsches Atommodell* (n=3)

S9: Also ich habe mir das immer so vorgestellt, daß diese Elektronen sich um den Kern herum bewegen und je mehr Energie sie haben, um so schneller bzw. um so weiter außen bewegen sie sich um den Kern herum.

b) *Bohrsches Atommodell mit aufgesetzter Wahrscheinlichkeitsinterpretation.* (n=4)

S21: Von der Vorstellung ist es letzten Endes doch wieder das Bohrsche Atommodell... Ich bin der Meinung, man kann es nicht wirklich fassen ... Die Bohrschen Atomradien, die haben sich bloß als Halbwahrheit rausgestellt, und ... von der Quantenmechanik her, ist es ja letzten Endes doch bloß Aufenthaltswahrscheinlichkeit.

c) *konkrete Vorstellung von „Wolken“* (n=3)

S7: Ich stelle es mir so vor, daß es das Elektron auch nicht als Kugel, sondern irgendwie ... um den Atomkern so umkreist als ... ja, als Verteilung ...

d) *„Orbitale“ mit Wahrscheinlichkeitsverteilung* (n=5)

S12: [Die Quantenmechanik] sagt, ich habe jetzt kein Elektron, das da irgendwo rumschwirrt, sondern ich hab' eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit für ein Elektron und hab also praktisch einen Raum, in dem es sich aufhält ... Diese Aufenthaltsräume, in denen sich die Elektronen dann aufhalten, sind diese sogenannten Orbitale.

e) *reine Wellenvorstellung (mit Wahrscheinlichkeitsinterpretation)* (n=1)

S10: Ich kann's mir als Wellenpaket vorstellen, also diese Wellen sind irgendwo lokalisiert – mehr oder weniger. Und Heisenberg sagt halt, daß ich die nicht genau lokalisieren kann.

f) *am besten nicht veranschaulichen* (n=2)

Bemerkenswert ist, daß das Bohrsche Atommodell wird so gut wie immer als Ausgangspunkt der Argumentation benutzt wird. Quantenmechanische Modifikationen werden darauf mehr oder weniger stark „aufgesetzt“. Die vor allem in der Schule erworbene Vorstellung vom Atom, um das in diskreten Bahnen die Elektronen kreisen, scheint sehr stabil zu sein.

## 2. Permanente Lokalisierung?

Frage: Hat ein Elektron zu einem bestimmten Zeitpunkt einen festen Ort?

a) *Permanente Lokalisierung*

i) *Elektron besitzt festen Ort, der aber unbekannt ist* (n=4)

S1: Ja, es muß sich ja irgendwo aufhalten, aber durch die Messung ist er nicht zugänglich, der Ort.

S2: Ich würde sagen, eigentlich hat es schon einen bestimmten Ort, nur den kennen wir halt nicht, so stell' ich mir das halt vor.

ii) *Ort ist festlegbar, aber wegen mangelnder Kenntnis der Anfangsbedingungen keine Bahn* (n=3)

S6: Es wäre bestimmt möglich, vielleicht den Ort festzulegen, aber dann keine genaue Bahn eben. ... um das genau feststellen zu können, braucht man ja Ort und Geschwindigkeit. Und das läßt sich ja eben ...

nach der Unschärferelation nicht genau feststellen ...

b) *keine unbedingte Festlegung auf feste Ortseigenschaft*

i) *Lokalisierung in einem Bereich mit einer Wahrscheinlichkeit (n=2)*

S8: Das ist einfach so, daß die keinen festen Ort meines Erachtens besitzen, sondern einfach sich willkürlich irgendwo in einem bestimmten Bereich aufhalten.

ii) *Elektron als „Verteilung“ (n=2)*

S13: Ich denk, das kann man gar nicht sagen, daß das Elektron jetzt tatsächlich einen Ort hat. Wenn es tatsächlich einen Ort hätte, dann könnte man den ja beschreiben. Das ist halt delokalisiert, das existiert dann halt mehr als Energieverteilung, denke ich mir.

iii) *nur Wahrscheinlichkeitsaussage möglich (n=2)*

S4: ... man beschreibt das mit einer Ortsfunktion, Ortswellenfunktion, und an dem bestimmten Zeitpunkt gibt diese nicht einen bestimmten Ort an, sondern bloß die Aufenthaltswahrscheinlichkeit an diesem Ort.

c) *indifferent (keine Aussage, Wechsel der Auffassung...) (n=5)*

Auffällig ist hier, daß häufiger Bezug auf eine „schnelle Bewegung“ erfolgt, derentwegen eine Lokalisierung in der Praxis nicht möglich ist:

Diese Elektronen ... schwirren halt mit einer praktisch unendlichen Geschwindigkeit, ... und wenn man lange genug mißt, dann kriegt man halt diese Wahrscheinlichkeitsverteilung raus.

Als Fazit der Gesamtuntersuchung kann man festhalten, daß in der überwiegenden Zahl der Fälle klassische Vorstellungen statt der korrekten quantenmechanischen dominieren (z. B. Bohrsches Atommodell, Bahnbegriff, Vorstellung der permanenten Lokalisierung). Sehr oft wird explizit auf in der Schule erworbenes „Wissen“ zurückgegriffen. Die Ausbildung der Lehramtsstudenten in der Universität scheint also nicht ausreichend zu sein, um ein angemessenes quantenmechanisches Bild des Atoms zu vermitteln, mit dem begründete didaktische Entscheidungen gefällt werden können.

[1] P. Engelhardt, H. Wiesner, *Präparationsexperimente als Leitlinie einer Einführung in die Quantenphysik für Grund- und Leistungskurse*, Physik in der Schule **32** (1994), 271.

[2] L. Eisenbud, *The Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, New York 1971.

[3] H. J. Bayer, *Schülervorstellungen beim Übergang vom Bohrschen zum wellenmechanischen Atommodell*, in: W. Kuhn (Hrsg): *Didaktik der Physik*. Physikertagung 1986.

[4] M. Bormann, *Das Schülerverständnis zum Themenbereich „Modellvorstellungen zu Licht und Elektronen“*, in: W. Kuhn (Hrsg): *Didaktik der Physik*. Physikertagung 1987.

[5] T. Bethge, *Empirische Untersuchungen über Schülervorstellungen zur Quantenphysik*, in: W. Kuhn (Hrsg): *Didaktik der Physik*. Physikertagung 1988.

[6] M. Lichtfeldt, *Schülervorstellungen in der Quantenphysik und ihre möglichen Veränderungen durch Unterricht*, Essen 1992.

[7] H. Wiesner, *Ergebnisse von schriftlichen Befragungen zum Kenntnisstand von Schülern über Quantenphysik*, in: *Didaktik der Physik*. Physikertagung 1993.

[8] H. Wiesner, *Verständnisse von Leistungskursschülern über Quantenphysik. Ergebnisse mündlicher Befragungen*. Physik in der Schule **34** (1996) 95.

[9] A. Mashhadi, *Student's Conceptions of Quantum Physics*, in: G. Welford et al. (eds.): *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes*, London 1996.

[10] J. Petri, *Der Lernpfad eines Schülers in der Atomphysik*, Aachen 1996.