

Vom Licht zum Atom

Lutz Schön, Johannes Werner

(aus: R. Brechel (Hrsg.). *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven. Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik und Chemie in Essen, September 1998.* Alsbach : Leuchtturm. 1999)

Vorbemerkung

Das von Erb und Schön in Kassel entwickelte Lichtwegkonzept [Erb94, ES97] nutzt den Zeigerformalismus nach einer Idee R. Feynmans [Fey88] zur Beschreibung von Beugungs- und Interferenzerscheinungen. Damit lassen sich die schulrelevanten Inhalte des Optikunterrichtes der Oberstufe weitgehend abdecken. Im vergangenen Schuljahr wurde ein Teil dieses Konzeptes zusammen mit einer neu entwickelten Unterrichtseinheit mit einem Übergang zur Atomphysik erprobt.

1 Inhalt der Unterrichtseinheiten

Die Inhalte des Unterrichts bestanden in der Einführung des Zeigerformalismus und der Durchführung zahlreicher Interferenzexperimente. Mit dem Zeigerformalismus wurden dabei die Intensitätsverteilungen des Lichtes auf dem Beobachtungsschirm berechnet. Anhand der Beobachtung von Fotografien eines Doppelspaltbildes geringster Intensität wurde die Quanteneigenschaft des Lichtes thematisiert und der Begriff des Photons für die Registrierung von Lichtquanten eingeführt. Weiter Inhalte der Optikeinheit waren der Photoeffekt und das Fundamentalprinzip.

Die Erkenntnisse zum Licht ließen sich auf das Medium "Elektronium" übertragen. Elektronium wurde im Gegensatz zum Karlsruher Physikkurs (vgl. [Lau95]) nicht als Stoff bezeichnet, um keine klassische Materieeigenschaften nahezulegen. Elektronium verhält sich in vielem ähnlich wie Licht, so konnten beispielsweise Interferenzen beobachtet und mit dem Zeigerformalismus Antreffwahrscheinlichkeiten von Elektronen berechnet werden. Der Weg zum Atommodell wurde durch einen historischen Überblick begonnen. Der Zugang zum Orbitalmodell erfolgte über die Beschreibung des Elektroniums in einem eindimensionalen Raum (das "A-Rohr") mit Zeigern. Mit der Übertragung auf eine Kugel und unter Berücksichtigung einer potentiellen Energie aufgrund eines Coulombschen Feldes konnten die Energieniveaus des Wasserstoffatoms näherungsweise bestimmt werden. Für die Verteilung der Antreffwahrscheinlichkeit der Elektronen wurde der Begriff Orbital eingeführt. Damit bestand die Möglichkeit der Erklärung vielfältiger Wechselwirkungsprozesse zwischen Licht und Materie.

2 Ziele und Ergebnisse der Erprobung

Die Erprobung des Unterrichts hatte nicht die Funktion einer vergleichenden Evaluation, sondern vielmehr die einer explorativen Studie. Unterrichtet wurde in zwei Phasen von jeweils 8 Wochen (32 Schulstunden) in einem Profilkurs der Physik, Klasse 11, in einem Berliner Gymnasium. Ziel der Untersuchung war die Anpassung der Unterrichtseinheiten an die Bedürfnisse der Schulumgebung mit den speziellen Voraussetzungen und Lernschwierigkeiten der Schüler. In diesem Beitrag wird eine Analyse der Präkonzepte der Schüler zu den Themen Licht und Atom und deren Veränderungen durch den Unterricht dargestellt. Dazu wurden Lernziele formuliert, deren Erreichbarkeit untersucht wurde.

Als Untersuchungswerkzeuge standen neben einer intensiven Unterrichtsbeobachtung durch Hospitanten und Videoaufzeichnungen verschiedene Leistungstests und Concept Maps, die vor, zwischen und nach den beiden Unterrichtsphasen von den Schülern angefertigt wurden, zur Verfügung. Das letzte Map wurde durch einen Fragebogen und ein Interview ergänzt.

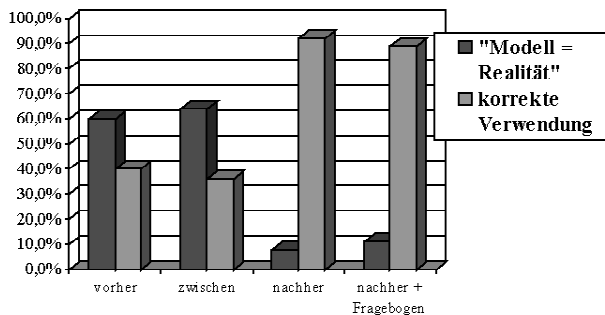


Abbildung 2: Verständiger Umgang mit dem Modellbegriff

sollten, mit dem Modellbegriff richtig umzugehen, wurde nach den Aussagen der Concept Maps erreicht. Während vor dem Unterricht etwa 60% der Aussagen eine Gleichsetzung von Modell und Realität wie z.B. "Licht ist eine Welle" andeuteten, wurden nach dem Unterricht

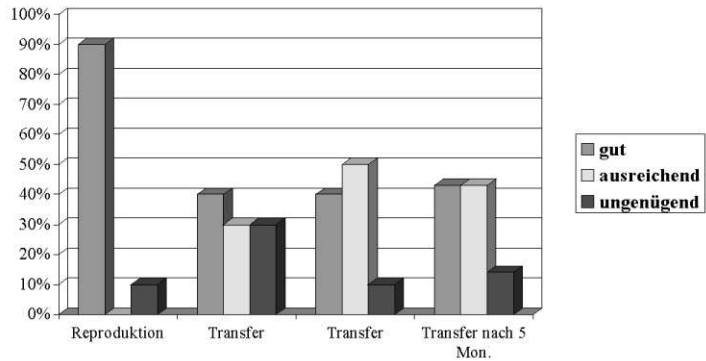


Abbildung 1: Fertigkeit in der Anwendung des Zeigerformalismus

Im folgenden soll die Überprüfung dreier Lernziele aufgezeigt werden. Das Lernziel, in der Anwendung des Zeigerformalismus eine Fertigkeit zu erlangen, wurde von den Schülern weitgehend erreicht. In Abbildung 1 sind die Bewertungen verschiedener Reproduktions- bzw. Transferaufgaben dargestellt, die in Tests, als Hausaufgabe bzw. nach einer Vergessenszeit von 5 Monaten gestellt wurden.

Auch das Ziel, dass die Schüler erlernen sollten, mit dem Modellbegriff richtig umzugehen, wurde nach den Aussagen der Concept Maps erreicht. Während vor dem Unterricht etwa 60% der Aussagen eine Gleichsetzung von Modell und Realität wie z.B. "Licht ist eine Welle" andeuteten, wurden nach dem Unterricht

die Modellbegriffe zu über 90% richtig verwendet. Dies ließ sich durch die Antworten der Fragebögen bestätigen (Abbildung 2 auf der vorherigen Seite). Ein drittes Lernziel, welches in dem Unterricht an zentraler Stelle stand, betrifft das Verständnis der Quanteneigenschaften von Photonen und Elektronen. Es wurde untersucht, welche Aussagen der Concept Maps im Zusammenhang mit dem Photonen- bzw. Elektronenbegriff stehen und ob ihnen eine klassische oder eine quantenmechanische Teilchenvorstellung zugrunde liegt. Aus Abbildung 3 ist abzulesen, dass unter allen Aussagen der Maps zwar diejenigen mit quantenmechanischen Teilchenvorstellungen zugenommen haben, dass aber andererseits die Aussagen mit klassischen Vorstellungen von den Schülern weiterhin verwendet wurden.

Um die Lernschwierigkeiten insbesondere beim Verständnis der Quanteneigenschaften zu verstehen, werden im folgenden einige Ergebnisse der Untersuchung von Schülervorstellungen aufgezeigt. Zunächst ließ sich beim Vergleich der Concept Maps der Schüler mit einem Intentionsmap eine deutliche Tendenz erkennen, dass sich die Schüleraussagen denen des Intentionsmaps im Laufe des Unterrichtes anpassen. Dies ließ sich durch die Berechnung der Zentrali-

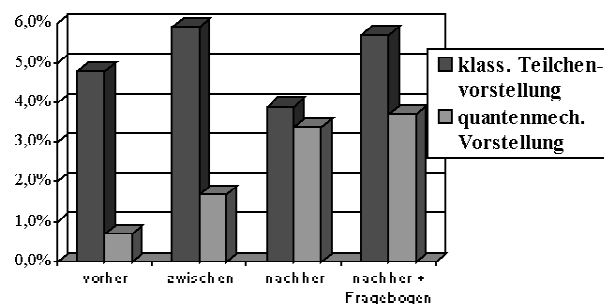


Abbildung 3: Verständnis der Quanteneigenschaften von Photonen und Elektronen

täten aller Begriffe ersehen: die Zentralitäten (berechnet nach dem Hoedeindex) der Begriffe in den Schülermaps vor dem Unterricht korrelieren nur schwach ($r = 0.46$) mit den Zentralitäten der Begriffe des Intentionsmaps; nach dem Unterricht korrelieren sie jedoch stark ($r = 0.78$). Diese Anpassung geschah nicht nur dadurch, dass neue Begriffe an Bedeutung gewannen (Abbildung 4 auf der nächsten Seite (a)), sondern auch dadurch, dass vorher zentralere Begriffe unwichtiger wurden (Abbildung 4 auf der nächsten Seite (b)). In Abbildung 4 auf der nächsten Seite sind die Hoedeindizes zu einigen Begriffen der Schülermaps vor, zwischen und nach den beiden Unterrichtsphasen dargestellt (gemittelt über alle Schüler).

Im einzelnen ließen sich bei vielen Schülern in den Maps vor dem Unterricht Aussagen zum Licht finden wie etwa: "Licht besteht aus Strahlen", "Licht ist eine Welle" oder "Licht besteht aus Teilchen". Dagegen gaben sie hinterher an, dass Lichtstrahl und Welle Modelle vom Licht seien und dass das Photon das Quant des Lichtes sei. Allerdings haben auch viele Schüler die Vorstellung entwickelt, dass sich Photonen auf Lichtwegen bewegen, was nicht intendiert war. Vorstellungen zum Atom zeigten sich vor dem Unterricht durch Aussagen wie: "Atome besitzen Schalen", "Elektronen kreisen auf Bahnen" und "Elektronen sind Teilchen". Nach dem Unterricht zeigten sie sich verändert: "Schale/Bahn/Orbital sind Modelle vom Atom" oder "das Orbital ist Antreffwahrscheinlichkeit von Elektronen". Die Aussage Elektronen sind

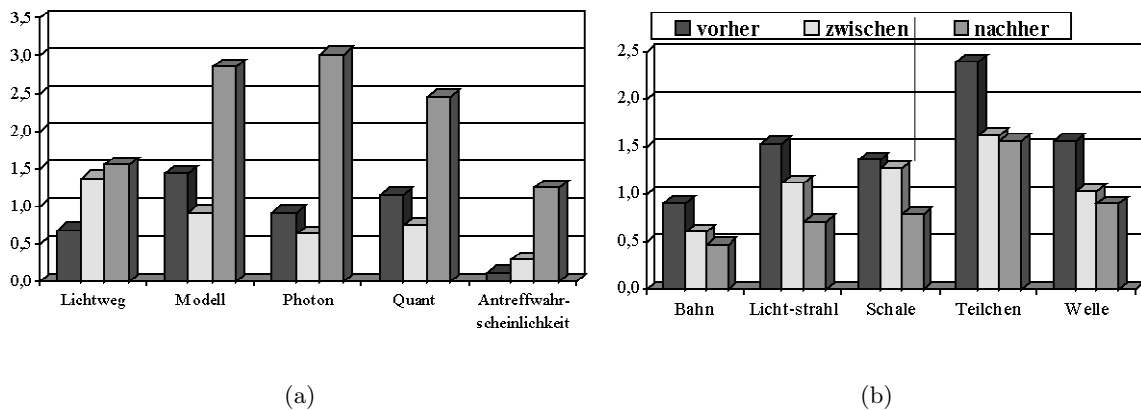


Abbildung 4: Bedeutzunahme (a) und Bedeutzunahme (b) von Begriffen der Schülermappe

Teilchen" wurde beibehalten aber durch die widersprüchlich erscheinende Aussage "Elektronen sind Quanten" ergänzt. Die Auswertung der Interviews deutet jedoch darauf hin, dass die Schüler durchaus im Sinne der Quantenmechanik richtige Vorstellungen zum Elektron entwickelt, aber den klassischen Begriff beibehalten haben.

Anhand von Einzelprofilen ließen sich bei solchen Schülern Schwierigkeiten beim Ablegen ihrer klassischen Vorstellungen beobachten, die durch früheren Unterricht oder eigenes Engagement klassische Modelle zum Licht oder Atom erlernt haben. So ließen sich bei einem guten Schüler mit detaillierten Kenntnissen zum Bohrschen Atommodell aus dem Chemieunterricht Schwierigkeiten beim Erlernen des Orbitalmodells erkennen, die er im Bereich der Optik nicht hatte. Umgekehrt gab ein Schüler, der sich durch Eigenstudium Kenntnisse zum Wellenmodell angeeignet hatte, an, dass er den Zeigerformalismus als schwierig empfand. Er äußerte noch im Interview nach dem Unterricht die Vorstellung, dass sich Photonen auf Wellenbahnen bewegten, was er durch eine entsprechende Handbewegung illustrierte. Alle anderen Schüler bewerteten den Zeigerformalismus als recht einfach., Aufgrund dieser Einzelfallstudien ließ sich die Beobachtung (z.B. [Fis92]), dass insbesondere beim Erlernen quantenmechanischer Modelle Vorkenntnisse entsprechender klassischer Modelle hinderlich sind, stützen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden bei der Überarbeitung der Unterrichtseinheiten Berücksichtigung finden. Das entstandene Unterrichtskonzept, über die Optik mit Zeigern in die Atomphysik einzusteigen, erscheint uns damit als ein geeigneter Zugang in die Quantenphysik, bei der Inhalte der modernen Physik auf verständliche Weise vermittelt werden können.

Literatur

- [Erb94] ERB, R.: *Optik mit Lichtwegen – Das Fermat-Prinzip als Grundlage für das Verstehen der Optik*. Bochum, Magdeburg : Westarp-Wissenschaften, 1994. – Dissertation
- [ES97] ERB, R. ; SCHÖN, L.: Ein Blick in den Spiegel – Einblick in die Optik. In: FISCHER, H.E. (Hrsg.): *Handlungs- und kommunikationsorientierter Unterricht in der Sek. II*. Bonn : F. Dümmers Verlag, 1997
- [Fey88] FEYNMAN, R. P.: *QED – Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie*. München : Piper, 1988
- [Fis92] FISCHLER, H. (Hrsg.): *Quantenphysik in der Schule*. Kiel : IPN, 1992
- [Lau95] LAUKENMANN, M. *Elektronen und Photonen – Ein Unterrichtsvorschlag zur Atom- und Festkörperphysik für die Sekundarstufe I*. 1995