

Andreas Kral¹
Christian Theis¹
Bernadette Schorn¹
Heidrun Heinke¹

¹RWTH Aachen

Praxistauglicher Einstieg in die Quantenphysik mit Realexperimenten

Einbettung und Ziele

Realexperimente nehmen jeweils eine zentrale Rolle in der naturwissenschaftlichen Forschung und im naturwissenschaftlichen Unterricht ein. Allerdings unterscheidet sich das Experimentieren in der Forschung maßgeblich vom Experimentieren im Unterricht (vgl. Heinicke & Peters 2014). Unter der Prämisse, dass Entwicklungen für die Praxis dort auch Bestand haben sollen, ist es erforderlich, Experimente bei der Übertragung aus der Forschung in die Schule unter Berücksichtigung schulpraktischer Überlegungen zu entwickeln. Der Beitrag zielt darauf ab, schulpraktische Überlegungen für die Entwicklung von komplexeren Experimenten vor dem Hintergrund der vielfältigen Anforderungen im Schulalltag zu formulieren, zusammenzufassen und exemplarisch für ein Experiment für den Einstieg in die Quantenphysik zu konkretisieren.

In verschiedenen physikdidaktischen Veröffentlichungen (vgl. z.B. Muckenfuß, 1995; Kircher et al., 2009) werden psychologische Aspekte zum Lernen, zur Wahrnehmung und zur Motivation als bedeutsame Kriterien benannt, die beim Einsatz von Experimenten in der Schule berücksichtigt werden sollten. Diese schulpraktischen Kriterien orientieren sich an den Schülerinnen und Schülern. Die Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer sowie schulinterne Rahmenbedingungen für den Einsatz von Experimenten wurden in der Literatur bisher kaum diskutiert.

Praxistaugliche Realexperimente als Einstieg in die Quantenphysik

Die Formulierung und Zusammenstellung der Kriterien erfolgt anhand eines Realexperiments, das bislang in der Hochschulausbildung eingesetzt wird (vgl. Weis & Wynands 2003; Dimitrova & Weis, 2008 und Rueckner & Peidle, 2013) und für einen Einsatz in der Schule weiterentwickelt und angepasst wurde. Dabei handelt es sich um das Doppelspaltexperiment mit geringen Lichtintensitäten, das für einen Einstieg in die Quantenphysik verwendet wird (s. Abb. 1).

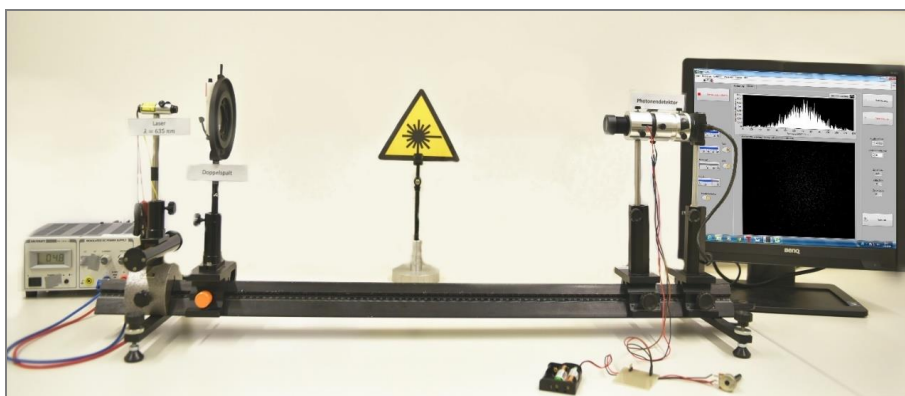


Abb. 1 Darstellung des Doppelspaltexperiments zum Einstieg in die Quantenphysik

Ausgehend vom etablierten Konzept der „Wesenszüge der Quantenphysik“ (Müller & Küblbeck, 2007) wurde der experimentelle Aufbau an der RWTH Aachen so weiterentwickelt, dass mit einem schulpraxistauglichen Flächendetektor eine sich zeitlich aufbauende Photondichte visualisiert und darüber ein experimenteller Zugang zu den Wesenszügen der Quantenphysik mit ihren Interpretationsfragen im Realexperiment ermöglicht wird. Eine ausführlichere Beschreibung des in Abb. 1 dargestellten experimentellen Aufbaus findet sich in (Kral et al., 2016). Bei der Entwicklung des Experiments wurde von Beginn an auch die Expertise erfahrener Lehrkräfte berücksichtigt. Im Folgenden werden die dabei abgeleiteten Kriterien zur Praxistauglichkeit von komplexeren experimentellen Aufbauten vorgestellt, die bei der Entwicklung des Experiments berücksichtigt wurden.

Kriterien für einen praxistauglichen Einsatz von Realexperimenten im Schulunterricht

Bei der Entwicklung komplexerer Versuchsaufbauten, wie beim hier betrachteten Doppelspaltexperiment stößt man schnell an unterschiedliche Grenzen der Umsetzbarkeit für den Einsatz im Schulalltag. So haben fachdidaktische Forschungsarbeiten gezeigt, dass die Wirkung, die ein Realexperiment im Unterricht entfalten kann, in der Regel eher von der Einbindung in den Unterricht abhängt als vom materiellen Versuchsaufbau (vgl. Maurer & Rincke, 2013). Trotzdem gibt es Grenzen, die vom materiellen Versuchsaufbau abhängen. So ist es aktuell noch nicht möglich dieses Experiment kostengünstig mit einzelnen Photonen zu realisieren. Im Folgenden werden verschiedene Kriterien dargestellt, die bei der Entwicklung komplexerer Experimente für die Schulpraxis von Bedeutung sind.

Realexperimente erweisen sich aus wahrnehmungspsychologischer Sicht als praxistauglich, wenn ihre Elemente gut sichtbar, klar akzentuiert, auf das Wesentliche beschränkt und mit Beschriftungen klar gegliedert sind (vgl. Kircher et al., 2009). Es ist leicht einzusehen, dass die Erfüllung dieser Anforderungen mit zunehmender Komplexität der Experimente anspruchsvoller wird. Abb. 1 zeigt, dass die genannten Aspekte in dem hier diskutierten quantenphysikalischen Experiment berücksichtigt wurden. Aus lernpsychologischer Sicht ist auf eine angemessene Strukturierung der Lerninhalte zu achten. Beim vorgeschlagenen Einsatz des diskutierten Experiments sollen die Schülerinnen und Schüler das experimentelle Ergebnis des Durchtritts von wenigen Photonen durch den Doppelspalt mit dem Resultat eines klassischen Realexperiments (Farbmuster nach Durchtritt von Tröpfchen aus einer Farbspraydose) vergleichen und dadurch eine Abgrenzung quantenphysikalischer Phänomene vornehmen. Aus motivationspsychologischer Sicht ist es sinnvoll den Ablauf des Experiments interessant und abwechslungsreich zu gestalten sowie die Lernenden aktiv einzubinden (vgl. Kircher et al., 2009). Erste Erfahrungen mit dem entwickelten Experiment zeigen, dass besonders der zeitlich verlangsamte Aufbau des Interferenzbildes nach dem Durchtritt weniger Photonen durch den Doppelspalt für die Schülerinnen und Schüler stark motivierend wirkt.

Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer

Damit die Lehrkraft ein komplexeres Experiment im Unterricht regelmäßig sinnvoll einsetzen kann, muss das Experiment verschiedene Anforderungen erfüllen. Hier wird zwischen primären und sekundären Kriterien unterschieden. *Primäre Kriterien* sind für eine Durchführung des Experiments im Unterricht zwingend notwendig, während *sekundäre Kriterien* zusätzliche, attraktive Funktionalitäten des Experiments betreffen. Beide Typen der Kriterien gelten prinzipiell für den Einsatz des Experiments im Unterricht unabhängig vom konkreten Schulstandort. Darüber hinaus gibt es schulinterne und damit schulspezifische Rahmenbedingungen. Eine Zusammenfassung der abgeleiteten Kriterien, die bei der Entwicklung komplexerer Experimente unter dem Aspekt der Schulpraxistauglichkeit des Experiments zu beachten sind, zeigt Tab. 1.

Primäre Kriterien - notwendig - allgemeingültig	- Curriculare Verankerung - Sicherheit - Durchführbarkeit im Unterricht (z.B. Umgebungslicht, benötigter Platz, Justageaufwand) - Stabilität des experimentellen Aufbaus - Reproduzierbarkeit der Messergebnisse
Sekundäre Kriterien - nützlich - allgemeingültig	- Variable Versuchsdauer - Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten (z.B. Wahl zwischen Demonstrations- oder Schülerexperiment) - geringer Zeitraum für Aufbau, Justage und Abbau - Mobilität
Schulinterne Rahmenbedingungen - notwendig - schulspezifisch	- Experimentierkompetenz der Lehrerinnen und Lehrer - Anschaffungskosten - Ausstattung der Sammlung (z.B. bereits vorhandener Experimentiermaterialien) - Lagerungsmöglichkeit für Experimente

Tab. 1 Kriterien für den praxistauglichen Einsatz von komplexeren Experimenten im Physikunterricht aus Perspektive der Lehrkräfte und Schulen

Zum Kriterium der curricularen Verankerung sei angemerkt, dass es neben den engen inhaltlichen Bezügen auch methodische Aspekte sowie erweiterte Kontexte eines experimentellen Aufbaus geben kann, aus denen sich weitere Optionen der curricularen Verankerung ergeben können. Am hier vorgestellten Realexperiment können vielfältige prozessbezogene Kompetenzen aus dem Bereich der Erkenntnisgewinnung geschult werden. Außerdem lassen sich zur Erklärung der Funktionsweise des entwickelten Photonendetektors vielfältige inhaltliche Kontexte finden, wie z.B. der Kontext der Nachtsichtgeräte (vgl. Bammel, 2008). Die weiteren primären Kriterien der Sicherheit, der Durchführbarkeit im Unterricht, der Stabilität des experimentellen Aufbaus und der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse (bis auf stochastische Schwankungen) weisen darauf hin, dass der materielle Versuchsaufbau zunächst für den Unterricht handhabbar, sicher und zuverlässig funktionierend entwickelt werden muss, bevor eine Einbindung in den Unterricht möglich ist. Damit stellen die primären Kriterien an den materiellen Versuchsaufbau eine Voraussetzung für die Einbindung in den Unterricht dar.

Bei der Entwicklung des experimentellen Einstiegs in die Quantenphysik unter Nutzung des in Abb. 1 dargestellten Experiments wurden neben den aufgeführten Kriterien weitere Ergebnisse fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten berücksichtigt. Insbesondere wurde aufbauend auf dem Realexperiment auch eine exemplarische Unterrichtskonzeption entwickelt, da die Vor- und Nachbereitung von Experimenten ihre Lernwirksamkeit entscheidend beeinflusst (vgl. Tesch, 2004).

Fazit und Ausblick

Im Zuge der Entwicklung eines schulpraxistauglichen experimentellen Zugangs zur Quantenphysik unter Nutzung eines adaptierten Doppelspaltexperiments mit wenigen Photonen (Kral et al., 2016) wurden Kriterien der Praxistauglichkeit für den Einsatz von komplexeren Experimenten im Schulunterricht abgeleitet und hier vorgestellt. Ein Schwerpunkt der Darstellung lag dabei auf Kriterien, welche die Perspektive der Lehrkräfte und schulinterne Rahmenbedingungen betreffen, die bislang in der fachdidaktischen Literatur wenig Beachtung fanden. Es ist geplant die vorgestellten Kriterien durch weitere Lehrkräfte kritisch bzgl. ihrer Zuordnung und Relevanz beurteilen zu lassen und diese ggfs. zu ergänzen. Die formulierten Kriterien sollten bei weiteren Entwicklungsarbeiten komplexerer Experimente für den Schulunterricht Berücksichtigung finden und können auch dabei ggfs. ergänzt werden.

Literatur

- Bammel, K. (2008) Physik im Alltag - Wenn die Nacht zum Tage wird. In PhysikJournal 7 Nr. 10, S. 50-51.
- Dimitrova, T. L. & Weis, A. (2008): The wave-particle duality of light: A demonstration experiment. Am. J. Phys. 76, 137.
- Heinicke, S. & Peters, S. (2014): Was ist Experimentieren? Populäre Sichtweisen unter der Lupe. In NiU144, S.10-13.
- Kircher, E. et al. (2009): Physikdidaktik – Theorie und Praxis. Zweite Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag. S. 244- 264.
- Kral, A.; Theis, C. & Heinke, H. (2016): Der Photonendetektor für die Schule als Einstieg in die Quantenphysik. In PhyDid B (in Begutachtung).
- Tesch, M. & Duit, R. (2004): Experimentieren im Physikunterricht. Ergebnisse einer Videostudie. In: ZfDN 10, S. 51-69.
- Muckenfuß, H. (1995): Lernen im sinnstiftenden Kontext - Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin: Cornelsen. S. 334 - 339.
- Müller, R. & Küblbeck, J. (2007): Die Wesenszüge der Quantenphysik - Modelle, Bilder und Experimente. Aulis-Verlag, 2. Auflage, S. 25-51.
- Maurer, C. & Rincke, K. (2013). Zielgerichtetes Experimentieren. In: S. Bernholt, Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover.
- Rueckner, W. & Peidle, J. (2013): A lecture demonstration of single photon interference. Am. J. Phys 81(12), 951-958.
- Weis, A. & Wynands, R. (2003): Three demonstration experiments on the wave and particle nature of light. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. PhyDid 1/2. S.67-73.