

Gina Goffart¹
Sebastian Nell¹
Ralf Detemple¹
Heidrun Heinke¹

¹RWTH Aachen University

Außerschulische Angebote zur Quantenphysik für Schüler:innen

Motivation

Die Quantenphysik stellt ein wichtiges Teilgebiet der Physik dar. Viele Errungenschaften wie Computer und Smartphones, aber auch Laser und medizinische Verfahren wie die Magnetresonanztomographie, welche aus unserem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken sind, wären ohne die Quantenphysik nicht möglich gewesen. Gleichzeitig erwartet man im Bereich der Quantentechnologien zeitnah einen Transfer von Forschungsergebnissen in technische Innovationen, beispielsweise beim Quantencomputing oder in der Quantenkryptographie.

Aufgrund der hohen Relevanz für Technik und Forschung erscheint es deshalb wichtig, Schülerinnen und Schüler für die Quantenphysik zu motivieren.

Auch im Kernlehrplan des Landes Nordrhein-Westfalen für die Sekundarstufe II im Fach Physik wird die besondere Bedeutung der Quantenphysik für Gegenwart und Zukunft hervorgehoben: „In der Quantenphysik spiegelt sich beispielhaft die moderne Weiterentwicklung des physikalischen Weltbilds wider“ (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022, S. 20).

Interesse zu wecken und Faszination zu erzeugen, ist im naturwissenschaftlichen Unterricht eine wichtige Aufgabe von Experimenten (Pawek, 2009). Insbesondere Schülerexperimente eignen sich durch die Aktionsmöglichkeiten der Schüler:innen besonders, Motivation und Werthaltungen positiv zu beeinflussen (Girwidz, 2019).

Experimente zur Quantenphysik sind jedoch häufig aufwändig und kostenintensiv, weswegen sie an Schulen meist nicht oder nur in einfacher Ausführung für Demonstrationsexperimente zur Verfügung stehen. Somit erhalten Schüler:innen in der Schule meist nicht die Möglichkeit, das wichtige Inhaltsfeld der Quantenphysik experimentell zu erkunden und hier auch entsprechende experimentelle Kompetenzen zu erwerben.

Um diesem Problem entgegenzuwirken, werden an der RWTH Aachen außerschulische Lernangebote entwickelt, welche Schüler:innen alternative Zugänge zu quantenphysikalischen Experimenten ermöglichen sollen.

Die außerschulischen Lernangebote

Das Ziel der außerschulischen Angebote ist es, Schüler:innen das eigenständige Experimentieren zu Inhalten der Quantenphysik zu ermöglichen. An der RWTH Aachen stehen hierfür diverse Versuchsaufbauten in mehrfacher Ausführung (zwei- bis achtfach) zur Verfügung. Diese Ausstattung ermöglicht auch Durchführungen verschiedener Experimente oder Kombinationen von Experimenten mit größeren Schülergruppen wie Physikkursen. Im Folgenden werden die zur Verfügung stehenden Experimente kurz vorgestellt:

- Analogie zum linearen Potentialtopf: In diesem Versuch werden stehende Schallwellen in einem offenen Glasrohr als Analogie für die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Teilchen im eindimensionalen linearen Potentialtopf genutzt. Mithilfe eines weiteren, beweglichen

Rohrs und eines Mikrofons kann der Ton an verschiedenen Positionen im Rohr gehört bzw. aufgenommen werden.

- PHODE: In diesem Analogieversuch wird mit einem stark abgeschwächten Laser und einem Doppelspalt ein Interferenzmuster erzeugt. Aufgrund der starken Abschwächung des Lichts und eines geeigneten Detektors ist jedoch auch zu erkennen, dass der Lichtstrahl aus einzelnen Photonenbündeln besteht, wodurch sowohl der Wellen- als auch der Teilchencharakter des Lichts erkennbar wird. Hiermit wird die häufig auftretende Fehlvorstellung, Quantenobjekte könnten nur Teilchen- oder Wellencharakter zeigen (Müller & Schecker, 2018), durch die zeitgleiche Sichtbarkeit von einzelnen Auftreffpunkten (Teilchencharakter) und einem Interferenzmuster (Wellencharakter) adressiert.
- Photoeffekt: Bei diesem Versuch wird mithilfe eines optischen Aufbaus unter Nutzung einer Photozelle die Grenzspannung für verschiedene Lichtfrequenzen gemessen. Aus diesen Werten kann das Planck'sche Wirkungsquantum ermittelt werden.
- Rastertunnelmikroskopie: In diesem Versuch wird der quantenmechanische Tunneleffekt genutzt, um die atomare Struktur von Materie sichtbar zu machen. Durch das eigenständige Herstellen von feinen Messspitzen und die Präparation von Proben werden hier neben experimentellen und kognitiven Fähigkeiten auch technische und feinmotorische Fähigkeiten gefördert.
- Offene Einzelphotonenexperimente: Mit Quantenoptik-Aufbauten der Firma Thorlabs werden diverse Experimente mit Einzelphotonen an einem offenen optischen Aufbau ermöglicht. Hierzu gehören Experimente zur Erzeugung und zum Nachweis von Einzelphotonen, deren Interferenz und Verschränkung sowie die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit.
- Fasergeleitete Einzelphotonenexperimente: Mit fasergeleiteten Quantenoptik-Versuchsaufbauten der Firma qutools können Schüler:innen ebenfalls Experimente mit Einzelphotonen durchführen. Hierzu gehören Experimente zur Verschränkung von Photonenpaaren und zum Hong-Ou-Mandel-Effekt. Der verwendete Versuchsaufbau bietet vor allem zwei große Vorteile für den Einsatz mit Schüler:innen: Zum einen ist der Justageaufwand im Vergleich zu anderen Einzelphotonenexperimenten aufgrund der Glasfaserleitungen gering, zum anderen wird der zur Erzeugung von Einzelphotonen notwendige Laser der Laserklasse 3B nicht offen verwendet, sodass keine weiteren als die im Aufbau bereits integrierten Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen.

Die Experimente können von Schülergruppen, z. B. Physikkursen, aber auch einzelnen interessierten Schüler:innen an der Universität durchgeführt werden. Einige der Experimente können zudem an Schulen verliehen werden.

Bei einem Blick in den Kernlehrplan der Sekundarstufe II des Landes Nordrhein-Westfalen fällt auf, dass einige der oben vorgestellten Experimente inhaltliche Aspekte der Inhaltsfelder Quantenobjekte (Grundkurs) und Quantenphysik (Leistungskurs) abdecken. Im Grundkurs Physik betrifft dies das Doppelspaltexperiment mit stark intensitätsreduziertem Licht und den Photoeffekt. Im Leistungskurs werden zudem die Koinzidenzmethode (relevant für Einzelphotonenexperimente) sowie im Inhaltsfeld Atom- und Kernphysik der eindimensionale lineare Potentialtopf behandelt (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022). Die Thematisierung schulischer oder schulnaher Inhalte bietet den Vorteil, dass neuerworbenes Wissen und neuerworbene Kompetenzen an das schulische Vorwissen anknüpfen und die Angebote gut an die Voraussetzungen von Schüler:innen anpassbar sind. Dies ermöglicht eine Vernetzung von Schülerlabor und Schule, welche das

Kompetenzerleben der Schüler:innen im Schülerlabor verbessert (Itzek-Greulich et al., 2016) und sich nachhaltig positiv auf die Wirkung des Schülerlabors auswirkt (Petermann, 2025).

Die Rastertunnelmikroskopie sowie weitere für Einzelphotonenexperimente wichtige Grundlagen sind kein Inhalt des regulären Schulunterrichts, wie ihn der Kernlehrplan vorgibt. Sie spielen aber eine große Rolle in der aktuellen Forschung. Zudem wurde jüngst der Physik-Nobelpreis 2025 an John Clarke, Michel Devoret und John Martinis für die Erforschung des quantenmechanischen Tunneleffekts in speziellen Schaltkreisen vergeben (Weiß, 2025). Für die Durchführung in Schülerlaboren bieten die Rastertunnelmikroskopie ebenso wie Einzelphotonenexperimente, die sich der aktuellen Forschungs- und Berufswelt in verschiedenen Facetten annähern, den Vorteil einer hohen Authentizität und vermitteln so in besonderem Maße deren Bedeutung (Pawek, 2009).

Unter Berücksichtigung dieses inhaltlichen Faktors sowie der Länge und des technischen Anspruchs der einzelnen Experimente lassen sich zwei Varianten zur Durchführung außerschulischer Experimentierangebote ableiten:

- Variante a: Durchführung mehrerer kurzer Experimente, welche aus dem Schulunterricht bekannte Inhalte thematisieren und technisch vergleichsweise einfach durchzuführen sind. Die Experimente sind so gestaltet, dass Versuchsaufbauten zwar zum Teil selbstständig zusammengebaut und justiert werden müssen, um experimentelle Kompetenzen zu fördern, der Aufbau und die Durchführung jedoch bereits für Schüler:innen gut zu bewältigen sind.
- Variante b: Intensive Durchführung eines Experiments, welches über Inhalte des Kernlehrplans hinausgeht und reale Forschungsmethoden verwendet. Die hierfür geeigneten Experimente bieten den Experimentierenden eine große Offenheit bzgl. ihres Vorgehens und der erreichbaren Ergebnisse.

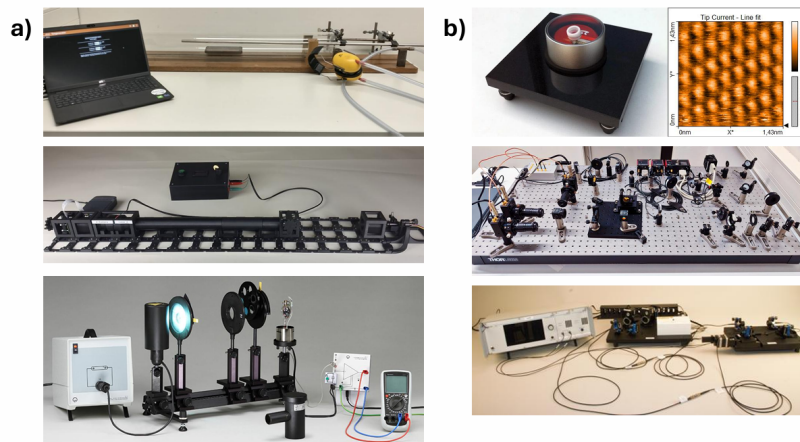


Abb. 1: Versuchsaufbauten der Experimente für die Varianten a und b:

a) Analogie zum linearen Potentialtopf, PHODE und Photoeffekt

b) Rastertunnelmikroskopie, offene und fasergeleitete Einzelphotonenexperimente

Da sowohl eine schul- als auch forschungsnahe Gestaltung außerschulischer Angebote didaktische Vorteile aufweisen, soll die Wirkung dieser zwei Gestaltungsarten auf Schüler:innen sowie Studierende früher Semester der Physik oder physiknaher Studiengänge und deren Interesse für Quantenphysik untersucht werden.

Literatur

- Girwidz, R. (2019). Experimente im Physikunterricht. In Kircher, E., Girwidz, R. & Fischer, H.E. (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen*. Springer Spektrum, 4. Auflage
- Itzek-Greulich, H., Blankenburg, J. S. & Schwarzer, S. (2016). Aktuelle Untersuchungen und Wirkungen von Schülerlaboren – Vor- und Nachbereitung als Verknüpfung von Schülerlaborbesuchen und Schulunterricht. In: LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e. V.. *LeLa magazin, Ausgabe 14*
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen – Physik*. Nr. 4721, 1. Auflage
- Müller, R. & Schecker, H. (2018). Schülervorstellungen zur Quanten- und Atomphysik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Springer Spektrum
- Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interessenfördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8-diss-36693> (abgerufen am 13.10.25)
- Petermann, V. (2025). Interessenförderung im Schülerlabor: Ein multiperspektivischer und kritischer Blick auf Zugänge und Rahmungen der Forschung. In: O. Krey, S. Bernholt, D. Laumann & T. Rabe (Hrsg.). *Interesse revisited – Interessenforschung im Bereich Naturwissenschaften*.
- Weiß, M. (2025). „Quantenphysik in Aktion“: Durch den Tunnel mit dem Supraleiter. In: Süddeutsche Zeitung, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/nobelpreis-2025-physik-quantenmechanik-forschung-li.3320262> (abgerufen am 31.10.25)