

Unbestimmtheit / Unbestimmtheitsrelation

Entwickeln Sie eine Unterrichtsskizze zur Einführung und Erklärung der Unbestimmtheit und der Unbestimmtheitsrelation.

Die (Heisenberg'sche) Unbestimmtheitsrelation wird im schulischen Kontext meist nur auf Ort und Impuls beschränkt und Schülerinnen und Schüler (SuS) entwickeln dadurch im späteren Verlauf oftmals die Vorstellung, dies sei genuin nur bei Orts- und Impulsmessungen zu finden. Dass diese wichtige Eigenschaft bei allen nicht-kommutierenden Observablen von Quantenobjekten auftritt und damit auf weitere Zusammenhänge (z. B. Spin-Messungen oder Polarisation) übertragen werden kann, wird demzufolge (fast) nie diskutiert. Die folgende Unterrichtsskizze versucht eben jener Problematik aus dem Wege zu gehen.

Zunächst sollen die SuS verschiedene *Simulationen* ausprobieren respektive erkunden:

- Stern-Gerlach-Apparate, sowohl einzeln als auch in Reihe (z. B. Kohnle o. J.)
- Einzel- und Doppelspalt-Experimente (z. B. Müller o. J.)
- Polarisationsfilter, ebenfalls einzeln oder in Reihe (z. B. ebd.)

Dies geschieht entweder in Stationsarbeit oder, sollte noch Unterricht zu Hause stattfinden, vor dem heimischen Rechner in Kleingruppen (maximal drei SuS).

Anschließend werden die SuS gebeten, bestimmte Konstellationen der einzelnen Experimente genauer zu betrachten, z. B. die Intensitätsverteilung bei Einzel- und Doppelspalt oder die Häufigkeitsverteilung bei in Reihe geschalteten Stern-Gerlach-Apparaten. SuS halten dabei ihre Beobachtungen fest und werden angeregt, diese in ihren Kleingruppen oder im Plenum zu diskutieren – auch erste Hypothesen dazu können (und sollen) angesprochen werden.

Um im späteren Verlauf die Diskussion die Fehlvorstellung der „Ungenauigkeit“ (i.S. einer ungenauen Messung) im Zusammenhang mit der Unbestimmtheit zu vereinfachen respektive im vornherein zu unterbinden, steht ein kurzer Exkurs über den *Zufall* an. Es stehen darüber hinaus verschiedene Beispiele zur Verfügung, welche einen klassischen Zufall beschreiben (Doppelpendel, ...). Anton Zeilinger formuliert es passenderweise so:

„In der klassischen Physik ist der Zufall immer eine Konsequenz unseres Nichtwissens. [...] Und selbst wenn es aus praktischen Gründen nie möglich wäre, eine solche Beschreibung [eines klassischen Problems; Anm.: T.S.] exakt

durchzuführen, ist die Existenz einer solchen kausalen Beschreibung zumindest denkbar. [...] Anders in der Quantenphysik. [...] Dies [der Zerfall eines Atoms; Anm.: T.S.] ist rein zufällig, und es gibt dafür keine naturgesetzliche Beschreibung. Man nimmt an, daß eine solche Beschreibung nicht nur uns unbekannt ist, sondern daß sie grundsätzlich nicht existiert. Das Verhalten des einzelnen Atoms ist in einer Weise zufällig, die über die Zufälligkeit der klassischen Physik hinausgeht.“ (Zeilinger 2007)

Im weiteren Verlauf des Unterrichts kann dann zum ersten Mal die Bezeichnung *Unbestimmtheit* benutzt und eine entsprechende Definition eingeführt werden: Es ist nicht möglich, einen Zustand zu präparieren, bei dem Ort und Impuls gemeinsam einen exakten Wert haben. Gleiches gilt für weitere bestimmte Größen in der Quantenmechanik.

Im Anschluss werden alle Simulationen durch die Lehrkraft mit den SuS besprochen und diskutiert, wobei großes Augenmerk auf etwaige Hinweise der Fachdidaktik hinsichtlich einer präzisen Formulierung gelegt wird (etwa in: Müller o. J.; Kircher; Girwidz 2010; Schecker [u. a.] 2018).

Einen Ausblick auf die Anwendung von Qubits respektive die Verschlüsselung nach dem BB84-Protokoll rundet die Unterrichtssequenz ab (vgl. z.B. Dür; Heusler 2012).

Verwendete Literatur:

Dür, Wolfgang; Heusler, Stefan: Was man vom einzelnen Qubit über Quantenphysik lernen kann. In: PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule Jg. 1 / 2012, Heft 11, S. 16.

Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund: Physikdidaktik: Theorie und Praxis. 2. Aufl., Häußler, Peter (Hrsg.): Berlin, Heidelberg: Springer: 2010.

Kohnle, Antje: The Quantum Mechanics Visualisation Project.
URL: <https://www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/> - Download vom: 01.02.2021.

Müller, Prof. Rainer: MILQ - Quantenphysik in der Schule.
URL: <https://www.milq.info/en/> - Download vom: 01.02.2021.

Schecker, Horst; Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin [u. a.] (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht: ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum: 2018.

Zeilinger, Anton: Die neue Art des Zufalls in der Quantenwelt. In: Debatte ; 5, S. 31-37 Jg. / 2007.