

Schülerakzeptanz der Ensemble- und Kopenhagener Deutung

Josefin Metje, Dr. Marco Seiter & Prof. Dr. Heiko Krabbe

MOTIVATION

- Die **Messung** von **Quantenphänomenen** wird als relevant für das Verständnis der **Quantenphysik (QP)** erachtet. (Merzel et al., 2024, S. 11)
- Es existiert eine **genaue mathematische** Beschreibung der **Quantenphysik**.
- Für gleiche experimentelle Ergebnisse gibt es aber **unterschiedliche Deutungen** der Beschreibung.
- Die **Kopenhagener Deutung** erfährt die größte **Zustimmung** in der **wissenschaftlichen Gemeinschaft**. (Schlosshauer et al., 2013, S. 255)
führt aber zu paradoxen Aussagen (Schrödingers Katze).
- Mit der **Ensemble-Deutung** könnten diese Paradoxien vermieden werden.
- Deutungen** werden in der **QP-Lehre (implizit)** verwendet. (Greca & Freire, 2014)
- Verschiedene **Deutungen** könnten zu unterschiedlichen Lernschwierigkeiten führen. (Boucheé et al., 2021, S. 188)
- Deutungsspezifische Präferenzen** von Lernenden sind weitgehend **unerforscht**. Die **Thematik** wird vernachlässigt. (Baily & Finkelstein, 2015, S. 1)

ZIEL

Die **Akzeptanz** gegenüber **Ensemble- und Kopenhagener Deutung** soll untersucht werden.
Hinweise für **schülerorientierte** Lehrangebote.

FORSCHUNGSFRAGE

Inwiefern akzeptieren Schülerinnen und Schüler die **Deutung** eines **Strahlteilerexperiments mit Einzelphotonen** nach der **Kopenhagener bzw. der Ensemble-Variante**, und worin bestehen **Akzeptanzunterschiede**?

STUDIENDESIGN & METHODE

- Leitfadenbasierte **1:1 Akzeptanzbefragungen** mit **4 Phasen**. (Wodzinski, 1996)
- Stichprobe:** Q1-Physik-Schülerinnen (n=1) und Schüler (n=9) zweier Gymnasien in Nordrhein-Westfalen (N= 10); **pro Deutung 5 Einzelbefragungen**.

Akzeptanzbefragung

- Informationsangebot** **Kopenhagener oder Ensemble** Vorstellung und **Deutung** eines Strahlteilerexperiments mit Einzelphotonen am Quantenkoffer (Abb. 1).
- Befragen der Einstellungsakzeptanz** Die Plausibilität der Deutung wurde erfragt.
- Paraphrasierung (Verhaltensakzeptanz)** Das Experiment sollte mit eigenen Worten beschrieben und gedeutet werden.
- Anwendung (Verhaltensakzeptanz)** Das Experiment wurde mit Polarisationsfiltern erweitert. Beobachtungen und Deutungen sollten formuliert werden.

Auswertung

- Einstellungsakzeptanz** (= vgl. „Konzeptplausibilität“ nach Posner et al. (1982, S. 218)) → Skalierende Inhaltsanalyse mit 3-stufiger Akzeptanz-Skala ($\kappa=0,89$). (Bitzenbauer, 2020, S. 70f)
- Verhaltensakzeptanz** (= Verwendung deutungsspezifischer Formulierungen) → Strukturierende Inhaltsanalyse mit **deutungsspezifischen Kategorien**, z.B. Aussagen über „ein Photon“ ($\kappa=0,98$) und „Kopenhagener Deutung“ ($\kappa=0,71$) ≠ „Ensemble Deutung“ ($\kappa=0,61$).

κ : Cohens Kappa der Intercoder-Übereinstimmung

„Wir erwarten also, dass von beispielsweise 100 Photonen ca. 50 reflektiert und 50 transmittiert gemessen werden.“ (Bsp. Ensemble-Variante)

„Wir erwarten also, dass ein einzelnes Photon mit gleicher Wahrscheinlichkeit reflektiert oder transmittiert wird.“ (Bsp. Kopenhagener-Variante)

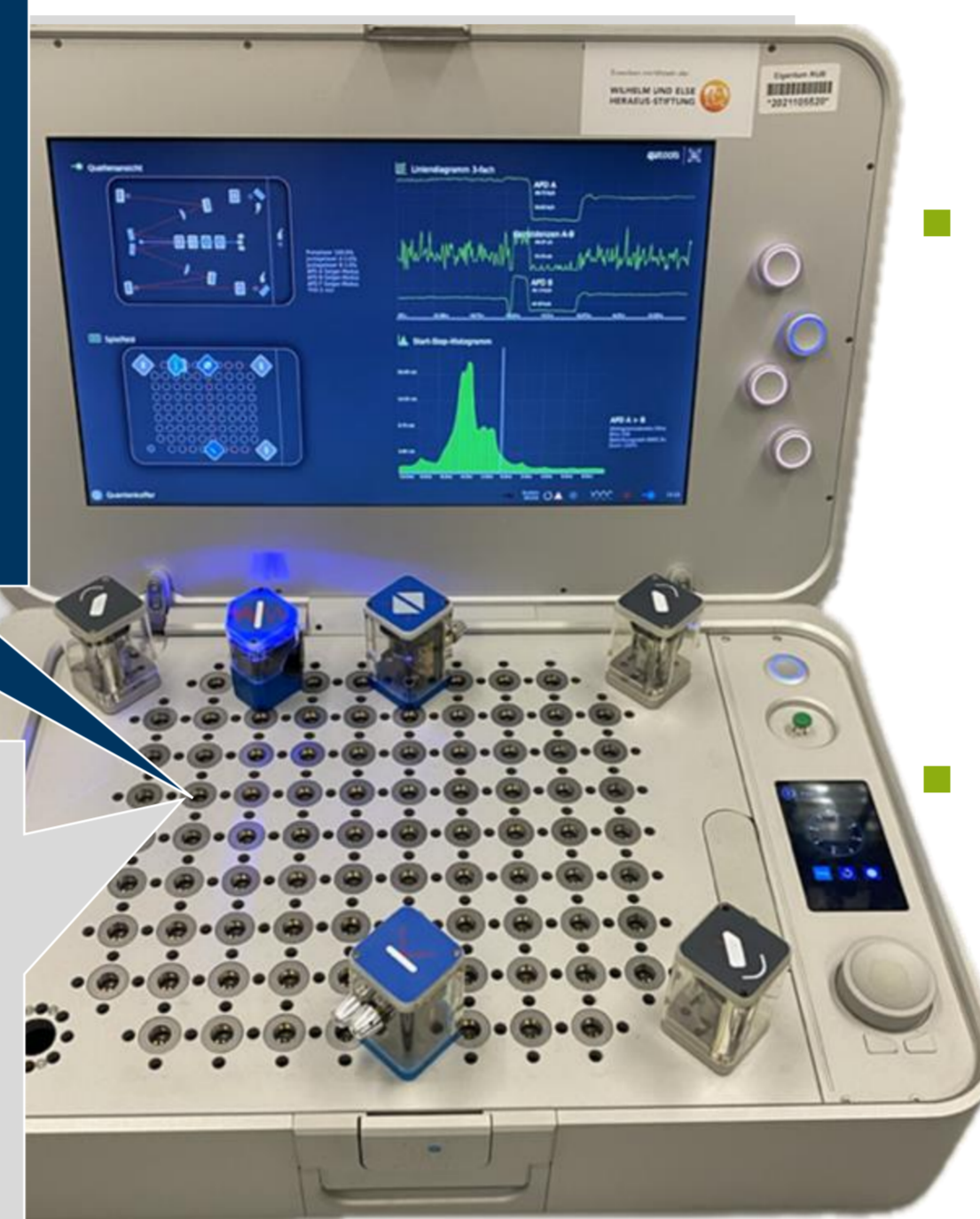


Abb. 1: Quantenkoffer

ERGEBNISSE & DISKUSSION

- Die **Akzeptanz der Kopenhagener Deutung** bei Schülerinnen und Schülern fällt **höher** als die der **Ensemble Deutung** aus (Tab. 1).

Tabelle 1:

Klassifizierte Benutzertypen der Ensemble- und der Kopenhagener- Gruppe mit jeweils 5 Befragten

		Verhaltensakzeptanz (Verwendung der präsentierten Deutung)	
		ja	nein
Einstellungsakzeptanz (Plausibilität)	ja A=1	überzeugter Benutzer 5 Kopenhagener 0 Ensemble	verhinderter Benutzer 0 Kopenhagener 3 Ensemble
	nein A=2-3	gezwungener Benutzer 0 Kopenhagener 1 Ensemble	überzeugter Nicht-Benutzer 0 Kopenhagener 1 Ensemble

Anmerkung. In Anlehnung an Müller-Böling & Müller (1986, S. 28). A: Akzeptanzstufe für die Deutung der Gruppe (A=1: vollständige -, A=2: eingeschränkte-, A=3: keine Akzeptanz).

- Kritik an der Ensemble Deutung:** Wirkt theoretisch, fehlender Lebensweltbezug, fehlende Bedeutungsrelevanz.

Merkmale typischer Schüleräußerungen:

- Bei **Ensemble Deutung:** Tendenz **eigene** (inadäquate) **Interpretationen** vorzunehmen.
- Bei **Kopenhagener Deutung:** Verwendung von **Animismen**.

LITERATUR

Baily, C. & Finkelstein, N. D. (2015). Teaching quantum interpretations: Revisiting the goals and practices of introductory quantum physics courses. *Physical Review Special Topics. Physics Education Research*, 11(2). <https://doi.org/10.1103/physrevstper.11.020124>

Bitzenbauer, P. (2020). *Quantenoptik an Schulen. Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*. Logos. <https://doi.org/10.30819/5123>

Bitzenbauer, P. (2021). Practitioners' views on new teaching material for introducing quantum optics in secondary schools. *Physics Education*, 56(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac0809>

Boucheé, T., De Putter Smits, L., Thurlings, M. & Pepin, B. (2021). Towards a better understanding of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses. *Studies in Science Education*, 58(2), 183–202. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963579>

Cleve, J. N. (2023). *Die Wesenszüge der Quantenphysik qualitativ und quantitativ – Entwicklung eines Lehrgangs zu Experimenten mit dem Quantenkoffer* (Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum). <https://dp.physik.ruhr-uni-bochum.de/quantenkoffer/>

Greca, I.M. & Freire, O. (2014). Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses. In M. Matthews, M. (Hrsg.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (S. 183–209). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_7

Merzel, A., Bitzenbauer, P., Krijtenburg-Lewerissa, K., Stadermann, K., Andreotti, E., Anttila, D., Bondani, M., Chiofalo, M. L., Faletti, S., Frans, R., Goorney, S., Greinert, F., Jurčić, L., Koupilová, Z., Maligneri, M., Müller, R. H., Onorato, P., Pospiech, G., Ubben, M. S., Woitzik, A. & Pol, H. J. (2024). The core of secondary level quantum education: a multi-stakeholder perspective. *EPJ Quantum Technology*, 11(1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-024-00237-x>

Müller-Böling, D. & Müller, M. (1986). *Akzeptanzfaktoren der Bürokommunikation*. Oldenbourg.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>

Schlosshauer, M., Kofler, J. & Zeilinger, A. (2013). A snapshot of foundational attitudes toward quantum mechanics. *Studies in History And Philosophy Of Science Part B Studies in History And Philosophy Of Modern Physics*, 44(3), 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2013.04.004>

Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht* (Dissertation, Universität Frankfurt). LIT.