

Bianca Winkler¹
 Philipp Bitzenbauer¹
 Jan-Peter Meyn¹

¹FAU Erlangen-Nürnberg

Quantenphysik = Quantenphysik? Assoziationen Forschender zur Quantenphysik

Forschungsinteresse

Aufgrund der Bedeutung der Quantenphysik für die aktuelle Forschung im Allgemeinen und für das moderne Verständnis der Naturwissenschaften im Speziellen, ist die Quantenphysik international bereits fester Bestandteil der Lehrpläne (Stadermann, Berg, & Goedhart, 2019). Die Entwicklungsforschung im Bereich der Quantenphysikdidaktik ist aber von verschiedenen Schwierigkeiten geprägt, denn: „Mehr als in anderen Gebieten hat man Entscheidungen über die Schwerpunkte des Unterrichts [...] zu treffen“ (Müller, 2005, S. 6).

Dass die Schwerpunkte des Quantenphysikunterrichts nach wie vor ganz unterschiedlich gelegt werden, erkennt man beim Vergleich verschiedener Unterrichtskonzepte zur Quantenphysik. Nicht zuletzt an diesen diversen inhaltlichen Kernpunkten wird offenkundig, dass in der Physikdidaktik noch immer kein abschließender Konsens über die im Schulunterricht zu vermittelnden Inhalte existiert (McKagan et al., 2010), auch wenn es mittlerweile erste Indizien für inhaltliche Key-Items gibt (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2018; Stadermann et al., 2019) und mit den Wesenszügen (Küblbeck & Müller, 2003) wenigstens ein etablierter Rahmen vorliegt. Auf der Suche nach einem Konsens bzw. beim Versuch einer Erklärung für diese Bandbreite inhaltlicher Schwerpunkte im Quantenphysikunterricht bisher weitgehend unbeachtet geblieben, ist der Einfluss der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selbst. In diesem Beitrag präsentieren wir daher die Ergebnisse einer ersten explorativen Studie, die nahelegen, dass die Frage danach was Quantenphysik ausmacht, schon unter Physikerinnen und Physikern keinesfalls einheitlich beantwortet wird, sondern stark von der jeweiligen Fachkultur der Forschenden abhängt. Somit sind die vielen verschiedenen inhaltlichen Schwerpunkte in Unterrichtskonzepten zur Quantenphysik kein Wunder; und im etablierten Schulthema Mechanik ist das beispielsweise auch nicht in vergleichbarem Ausmaß der Fall.

Studiendesign & Forschungsfragen

An der Studie beteiligten sich $N = 29$ ProfessorInnen und wissenschaftliche Mitarbeitende des Departments Physik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg aus den Fachbereichen Astro-Astroteilchenphysik (6x), Kondensierte Materie (9x), Optik (3x) und Theoretische Physik (11x). Die Forschenden sollten je eine Mind-Map zur Mechanik (Kontrollthema) und zur Quantenphysik anfertigen, denn „Mind-Maps zeichnen ein externes Bild dessen, was in unserem Inneren vorgeht“ (Buzan & Abbott, 2017, S. 61), um die folgenden Fragen zu klären:

1. Welche Begriffe assoziieren Forschende unterschiedlicher Fachkulturen mit der Quantenphysik? Zeigt sich ein inhaltlicher Überlapp zwischen den Fachbereichen?
2. Gelingt Experten anhand der Mind-Map eines Forschenden zu Quantenphysik bzw. zu Mechanik die Zuordnung von diesen zu seinem Fachbereich?

Methodik

Die in den Mind-Maps der Probanden genannten Begriffe wurden zunächst von unabhängigen Ratern kategorisiert ($\kappa = 0.93$ für die Begriffe zur Quantenphysik und $\kappa = 0.89$ für die Begriffe zur Mechanik). Eine Häufigkeitsanalyse der Begriffe in den Kategorien zeigt

inhaltliche Schwerpunkte innerhalb der einzelnen Fachbereiche (Astro-Astroteilchenphysik, Kondensierte Materie, Optik und Theoretische Physik) auf.

Ergebnisse zu Frage 1

Die Ergebnisse der Kategorisierung und der Häufigkeitsanalyse sind in aggregierter Form in der nachstehenden Abbildung zu sehen. Als Grundlage der Auswertung sprechen wir davon, dass von den Probanden eines Fachbereichs Begriffe einer Kategorie *X* *häufig* genannt wurden, wenn mindestens 15% aller vom Fachbereich stammenden Begriffe in die Kategorie *X* gehörten. Die entsprechenden Zellen sind in den Tabellen in Abbildung 1 hervorgehoben.

Kat.	Astro	KM	Optik	T.P.	#B
M1	3.96	3.06	27.03	19.91	60
M2	45.54	48.98	27.03	51.39	215
M3	31.68	30.61	5.41	14.81	96
M4	12.87	10.20	21.62	7.87	48

Kat.	Astro	KM	Optik	T.P.	#B
Q1	10.83	3.36	25.00	26.47	94
Q2	30.00	34.45	26.79	23.11	147
Q3	5.00	5.88	-	3.78	22
Q4	20.83	9.24	19.64	8.82	68
Q5	17.50	18.49	7.14	17.23	88
Q6	9.17	17.65	1.79	10.92	59

Abb. 1: Anteil der Begriffe an der Gesamtheit aller von Probanden aus einem Fachbereich genannten Begriffe je Kategorie in Prozent für die Mechanik (links) und die Quantenphysik (rechts).

Für die Mechanik zeigt sich: Sowohl die Probanden der Astrophysik, als auch die der kondensierten Materie legten den Schwerpunkt ihrer Mind-Maps zur Mechanik vor allem auf die Kategorie *Mechanische Probleme* (M3) – über 30% der aus diesen beiden Fachbegriffen stammenden Begriffe ließen sich dieser Kategorie zuordnen. Bei der Optik (27.03%) und der theoretischen Physik (19.91%) hingegen liegt ein großer Schwerpunkt auf *mathematischen Begriffen* (M1) der Mechanik. Eine Kategorie zu denen Probanden aus allen Fachbereichen viel beitrugen, vereinigt Begriffe zum *Formalismus der Mechanik* (M2). Zur Kategorie *Anwendungen* (M4) tragen alle Fachbereiche wenige Begriffe bei, auch wenn die Optik mit 21.62% etwas hervorsteicht - allerdings fällt dabei einer der nur drei Teilnehmenden aus der Optik besonders ins Gewicht.



Abb. 2: Die Mind-Maps zur Mechanik haben fachbereichsübergreifend einen gemeinsamen Schwerpunkt auf Begriffen zum Formalismus der Mechanik (M2). Auch Begriffe zu Anwendungen (M4) werden von allen Fachbereichen in ähnlichem Umfang hervorgebracht. Eine Unterscheidbarkeit zwischen Fachkulturen deutet sich nur anhand der Kategorien M3 und M4 an.

Die Mind-Maps zur Quantenphysik fallen deutlich heterogener aus und es zeigen sich klarer definierte Charakteristika, die der Quantenphysik von Probanden der einzelnen Fachbereiche zugeschrieben werden (vgl. Abb. 1): So entfallen über 25% aller Begriffe der

WissenschaftlerInnen aus Theoretischer Physik und Optik auf die Kategorie *Mathematische Methoden* (Q1) und rund 20% der Begriffe aus Optik und Astrophysik auf die Kategorie *Phänomene & Experimente* (Q4). Einen inhaltlichen Überlapp zwischen Theoretischer Physik, Astrophysik und der Festkörperphysik findet man in der Kategorie Q5, in der Begriffe zur *Atomaren Theorie* zusammengefasst sind; dies ist inhaltlich genauso plausibel wie der Schwerpunkt der Festkörperphysik auf der Kategorie *Wellenfunktionen* (Q6). Die einzige Kategorie, zu der von Probanden aus allen Fachbereichen häufig Begriffe genannt wurden, ist die Kategorie Q2, in der *Prinzipien der Quantenphysik* subsummiert wurden. In der Quantenphysik zeigen sich also deutliche Unterschiede zwischen den jeweiligen Fachkulturen, anders als in der Mechanik (vgl. Abb. 2).

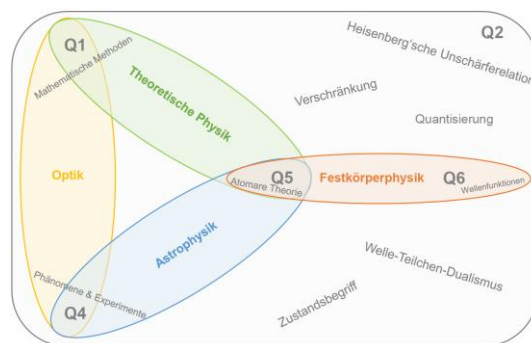


Abb. 3: Die Mind-Maps zur Quantenphysik liefern Indizien für deutlich fachbereichsgeprägte inhaltliche Schwerpunkte bei den Assoziationen, die Forschende zur Quantenphysik besitzen. Zwar zeigt sich fachbereichsübergreifend ein Schwerpunkt bei den Begriffen zu Prinzipien der Quantenphysik (Q2), allerdings besitzen die einzelnen Fachbereiche ansonsten trennbare Kernpunkte.

Ergebnisse zu Frage 2

Die qualitativen Ergebnisse zu Frage 1 legen nahe, dass Forschende tatsächlich fachbereichsspezifisch geprägte Assoziationen zur Quantenphysik besitzen. Um dies in einem ersten Schritt auch quantitativ zu prüfen, ordneten zwei unabhängige Experten (hier mit A und B bezeichnet) die einzelnen Mind-Maps ohne weitere Informationen einem der Fachbereiche zu. Weil die Probanden der Theoretischen Physik einen sehr deutlichen Schwerpunkt auf mathematische Begriffe legten und daher leicht identifiziert werden konnten, werden sie in den folgenden Darstellungen nicht berücksichtigt. Es zeigen sich dann deutliche Unterschiede zwischen Mechanik und Quantenphysik: Während die Experten die Fachbereiche der Forschenden anhand ihrer Mind-Maps zur Quantenphysik in rund 77.0% der Fälle richtig identifizierten ($\kappa_A = 0.58$, $\kappa_B = 0.61$), gelang dies anhand der Mind-Maps zur Mechanik nur in 30.8% der Fälle für Rater A ($\kappa_A = 0.04$) und 46.2% der Fälle für Rater B ($\kappa_B = 0.07$). Auch in der Übereinstimmung zwischen den Ratern schlägt sich das nieder: während diese für die Quantenphysik hoch ausfällt ($\kappa_{AB} = 0.74$), ist diese für die Mechanik niedrig ($\kappa_{AB} = 0.35$).

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen nahe, dass von der Quantenphysik nicht ein einheitliches Bild unter PhysikerInnen existiert, sondern dass dieses stattdessen abhängig ist vom jeweiligen Fachbereich. Es ist also alleine aus dieser Sicht kein Wunder, dass die Key-Items zum Quantenphysikunterricht je nach Blickwinkel der Forschenden auch in der fachdidaktischen Entwicklungsforschung unterschiedlich festgelegt werden.

Literatur

- Buzan, T. & Abbott, S. (2017). Das Mind-Map Buch. München: Mvgverlag
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & van Joolingen, W. R. (2018). Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions. International Journal of Science Education
- Küblbeck, J. & Müller, R. (2003). Die Wesenszüge der Quantenphysik . Aulis Verlag.
- McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2010). Design and validation of the Quantum Mechanics Conceptual Survey. Physical Review special topics – physics education research 6
- Müller, R. (2005). Qualitative Quantenphysik. Eine Handreichung für die Sekundarstufe I. Kiel: IPN Kiel
- Seiter, M., Krabbe, H. & Wilhelm, T. (2020). Vergleich von Zugängen zur Mechanik in der Sekundarstufe I. In S. Habig, Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Jahrestagung in Wien 2019 (S. 1051). Universität Duisburg-Essen: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik
- Stadermann, K., Berg, E. & Goedhart, M. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. Physical Review Physics Education Research 15, doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130)
- Waltner, C., Tobias, V., Hopf, M., Wilhelm, T., & Wiesner, H. (2008). Einführung in die Mechanik. Universität Würzburg, Universität Wien, Ludwig-Maximilians-Universität München