

Carsten Albert<sup>1,2</sup>  
Gesche Pospiech<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Festkörper- und  
Werkstoffforschung Dresden  
<sup>2</sup>Technische Universität Dresden

## **Quantenphysik in Klasse 9 - Entwicklung und Evaluierung eines Lehrkonzeptes**

### **Hintergrund**

Quantenphysik wird vielfach als eine der erfolgreichsten Theorien überhaupt angesehen und ist ohne Zweifel ein Grundbaustein unseres physikalischen Weltbildes (Küblbeck & Müller, 2007; Ireson, 1999). Gerade in Hinblick auf die „zweite Quantenrevolution“ haben die Quantenphysik und die damit verbundenen technologischen Entwicklungen das Potential, unser Leben wesentlich zu beeinflussen (vgl. Foti et al., 2021). Damit einher geht nicht nur eine gesellschaftliche, sondern auch eine bildungspolitische Relevanz. Im schulischen Bereich spiegeln sich diese Rahmenbedingungen auch in den neuen Bildungsstandards wider, die hier neue Schwerpunkte setzen und einen klaren Trend hin zu modernen Aspekten der Quantenphysik erkennen lassen (vgl. KMK, 2020).

Bisher ist die Quantenphysik praktisch ausschließlich Teil des Unterrichtes in der Sekundarstufe 2 (vgl. Stadermann et al., 2019). Moderne Zugänge eröffnen jedoch die Möglichkeit, in das Gebiet der Quantenphysik und -technologien bereits in der Mittelstufe einzuführen. So kann einer wesentlich größeren Zielgruppe Einblick in dieses physikalisch und gesellschaftlich relevante Thema ermöglicht werden.

Vor diesem Hintergrund entstand das Design-Based-Research-Projekt „Qubits4Pupils“. Übergeordnete Zielstellung ist die Entwicklung und Evaluierung eines einführenden, qualitativen und phänomenorientierten Unterrichtskonzeptes zur Quantenphysik für Klassenstufe 9 im Kontext der Funktionsweise von Quantencomputern.

### **Theoretische Grundlagen zum gewählten Zugang**

Innerhalb der Fachdidaktik hat sich ein breiter Konsens darüber herausgebildet, dass eine qualitative und konzeptuelle Einführung in die Quantenphysik gerade mit einem Schwerpunkt auf Quantentechnologien große bildungstheoretische Potentiale bietet und einen früheren Einstieg in das Thema ermöglicht (vgl. Müller, 2016; Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017).

Ein in diesem Kontext vielversprechender Ansatz stellt der Zugang zur Quantenphysik über Zweizustandssysteme (s. g. „Spin-First-Ansatz“) dar. Dabei werden wesentliche Konzepte und Phänomene an einem exemplarischen quantenphysikalischen Zweizustandssystem („Qubit“) thematisiert (Dür & Heusler, 2014).

Dieser Ansatz bietet gerade im Kontext von Quantentechnologien und -information aus fachdidaktischer Sicht zahlreiche Vorteile gegenüber eher traditionellen Zugängen. So sind die genutzten physikalischen Systeme oft wesentlich einfacher als die betrachteten Systeme des traditionellen Unterrichtes. Der Gegenstandsbereich ist außerdem begrifflich einfacher und sauberer zu fassen. Zudem wird er u. a. durch Analogieexperimente experimentell zugänglicher und ermöglicht eine zeitgemäße Erneuerung der Aufgabekultur (Müller, 2016).

### **Design-Prinzipien für die Intervention**

Für die Entwicklung des Konzeptes wurden Leitlinien und Design-Prinzipien aus aktuellen fachdidaktischen Ansätzen und Befunden im Bereich der Quantendidaktik abgeleitet, wobei hier aus Mangel an empirischen Untersuchungen in der Mittelstufe zunächst Befunde benachbarter Zielgruppen zur Generierung von Arbeitshypothesen genutzt wurden.

Grundsätzlich baut das Konzept auf einem Spin-First-Ansatz auf, der durch die Einführung des Elektronenspins als Qubit umgesetzt wird. Dieses Vorgehen ermöglicht gleichzeitig einen vollständigen Verzicht auf den Wellenbegriff – denn dieser soll zur Vermeidung der damit verbundenen zahlreichen Lernschwierigkeiten und Fehlvorstellungen (z. B. Hybridmodelle) umgangen werden (vgl. Hopf & Wilhelm, 2018; Körhasan & Miller, 2020).

Außerdem benötigt die Quantenphysik im Vergleich zur klassischen Physik ein ganz neues Denk- und Begriffssystem (Pospiech & Schöne, 2012), weshalb eine klare Begriffsbildung und Sprachsensibilität zentrale Design-Aspekte in der Ausgestaltung des Konzeptes sind.

Auf Grundlage weiterer Befunde sind darüber hinaus folgende Prinzipien von Bedeutung:

- Abgrenzung und Zusammenhang von Quantenphysik und klassischer Physik verdeutlichen
- Erarbeitung von Phänomenen entlang klar definierter Wesenszüge
- Phänomen- und Konzeptorientierung
- Gamification zum Einstieg in die Thematik

### **Forschungsfragen**

Kernziel der explorativ ausgerichteten Forschung ist die Evaluierung des gewählten Zugangs einschließlich der im Verlauf des Projektes entwickelten Design-Prinzipien und der entstandenen Lehrmaterialien. Im Sinne einer summativen Evaluierung des Gesamtkonzeptes ergeben sich die folgenden übergeordneten Forschungsfragen:

- Wie lernwirksam ist das Konzept in Hinblick auf erworbenes deklaratives Wissen?
- Inwiefern trägt das Konzept zur Entwicklung quantenphysikalisch adäquater Vorstellungen bei?
- Welche Verständnisschwierigkeiten treten bei den Lernenden auf?
- Wie wirkt sich die Intervention auf das Fachinteresse in Physik, auf das aktuelle Interesse an Physik auf das fachbezogene Selbstkonzept in Physik bei den Lernenden aus?
- Wie wird der Unterricht im Allgemeinen und der Einsatz von Gamification im Speziellen von den Lernenden beurteilt?
- Wie bewerten Lehrkräfte das Unterrichtskonzept?

### **Studiendesign**

Für das Lehrkonzept wurden zunächst der Lerngegenstand spezifiziert und ausgehend vom aktuellen Forschungsstand die oben skizzierten Design-Prinzipien abgeleitet. Darauf aufbauend wurde eine inhaltliche Strukturierung erarbeitet, die in einen ersten Entwurf für Lehrmaterialien überführt wurde (vgl. Dube & Hußmann, 2021).

Diese inhaltliche Strukturierung wurde zunächst in einem Laborsetting mithilfe s. g. „Akzeptanzbefragungen“ formativ evaluiert. Dabei handelt es sich um leitfadenbasierte Einzelinterviews, bei denen eine zyklische Abfolge von Interventions- und Befragungsphasen erfolgt (vgl. Burde, 2018; Wiesner & Wodzinski, 1996). Die Interviewstudie hat die Design-

Prinzipien und das grundsätzliche Vorgehen im Wesentlichen bestätigt. Außerdem gab sie Einblicke in kognitive Prozesse der Lernenden, aus denen erste Änderungen und Verbesserungen für die nachfolgenden Unterrichts-Pilotierungen im Feld abgeleitet wurden. Detaillierte Ergebnisse sind bei Albert & Pospiech (2023) zu finden.

Im zweiten Schulhalbjahr des Schuljahres 2022/23 wurde das Lehrkonzept mit insgesamt sechs Klassen bzw. Kursen in Sachsen und Hessen durch den Studienautor sowie einen studentischen Mitarbeiter pilotiert. Unter anderem mit Hilfe von Lehr- und Lerntagebüchern, Schüler- und Lehrerfeedback und Aussagen in Schülerinterviews konnten das Konzept und die Materialien bis zur finalen Version zyklisch adaptiert und ausgeschärft werden.

Im Schuljahr 2023/24 findet die Hauptstudie statt, deren Ziel die summative Evaluierung des ausgeschärften Konzeptes durch eine mittlere dreistellige Zahl von Lernenden ist. Dabei wird das Konzept im Sinne einer hohen externen Validität durch Lehrkräfte nach Absolvieren einer Lehrerfortbildung mit den entwickelten Materialien eigenständig unterrichtet. Zur summativen Evaluierung kommen sowohl Fragebögen (quantitativ) wie auch Einzelinterviews (qualitativ) zum Einsatz, deren Ergebnisse im Anschluss zur Triangulation genutzt werden sollen.

### **Material zur Intervention**

Ausgangspunkt von Design-Based-Research ist ein praxisrelevantes Problem, für das eine praxistaugliche Lösung erarbeitet wird (Wilhelm & Hopf, 2014). In diesem Prozess ist die Entwicklung von empiriebasierten Unterrichtsmaterialien ein wichtiges Element (vgl. Dube & Prediger, 2017).

Ausgehend von den ersten Materialentwürfen ist zum Ende der Pilotierungsphase ein umfangreicher Materialpool zum Konzept entstanden, wozu v. a. ein Schülerlehrbuch, ein Arbeitsheft (inklusive Lösungen), Arbeitsblätter, eine Lehrerhandreichung mit fakultativen Hintergrundinformationen, eine mehrteilige HTML-Simulation zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand sowie ein Stoffverteilungsplan zählen.

### **Entwicklung von Erhebungsinstrumenten zur summativen Evaluierung**

Parallel zur zyklischen Adaption der Intervention wurden Erhebungsinstrumente zur summativen Evaluierung entwickelt. Während zur Erhebung affektiver Variablen eine Reihe validierter Erhebungsinstrumente vorliegt, mussten diese zur Erhebung der Lernwirksamkeit für den konkreten Gegenstandsbereich neu entwickelt werden. Dabei lag der Fokus im Rahmen des Pilotunterrichtes auf der Entwicklung von geschlossenen Fragebögen zum deklarativen Wissen sowie zum Ausprägungsgrad quantenphysikalischer Vorstellungen.

Der Fragebogen zum deklarativen Wissen wurde, aufbauend auf curricularen Aspekten und einem Strukturmodell, unter anderem durch offene Fragen in Lerntagebüchern und eine Laut-Denken-Interviewstudie entwickelt, pilotiert und mittels klassischer Testtheorie, CFA und Rasch-Analyse ausgewertet. Der Vorstellungsfragebogen wurde ausgehend von curricularen und strukturellen Aspekten nach dem Vorbild von Müller (2003) und Bitzenbauer (2020) entwickelt und durch ein zweistufiges Interviewverfahren validiert. Darüber hinaus wurden ein halboffener Lehrerfragebogen sowie ein Interviewleitfaden für die teilstrukturierten Einzelinterviews mit den Lernenden entwickelt.

## Literatur

- Albert, C. & Pospiech, G. (2023): Quantenphysik in Klasse 9. Ergebnisse einer Akzeptanzbefragung für ein Spin-First-Unterrichtskonzept. In: PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG Frühjahrstagung 2023 (eingereicht)
- Bitzenbauer, P. (2020): Quantenoptik an Schulen. Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik: Logos Verlag Berlin
- Burde, J.-P. (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Dissertation. Logos Verlag Berlin
- Dube, J. & Hußmann, S. (2021): Fachdidaktische Entwicklungsforschung (Design Research). Theorie- und empiriegeleitete Gestaltung von Unterrichtspraxis. In: Früher Bildungsdialog Wissenschaftskommunikation zwischen Bildungsforschung und Schule, S. 18–37
- Dube, J. & Prediger, S. (2017): Design-Research – Ein Forschungszugang für praxisnahe Lernprozessforschung in der Deutschdidaktik. In: leseforum.ch., 1/2017
- Dür, W. & Heusler, S. (2014): Visualization of the Invisible: The Qubit as Key to Quantum Physics. In: The Physics Teacher 52 (8), S. 489–492. DOI: 10.1119/1.4897588
- Foti, C., Anttila, D., Maniscalco, S. & Chiofalo, M. (2021): Quantum Physics Literacy Aimed at K12 and the General Public. In: Universe 7 (4), S. 86. DOI: 10.3390/universe7040086
- Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018): Schülervorstellungen zu Feldern und Wellen. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 185–208
- Ireson, G. (1999): A multivariate analysis of undergraduate physics students' conceptions of quantum phenomena. In: Eur. J. Phys. 20 (3), S. 193–199. DOI: 10.1088/0143-0807/20/3/309
- Körhasan, N. D. & Miller, K. (2020): Students' mental models of wave–particle duality. In: Can. J. Phys. 98 (3), S. 266–273. DOI: 10.1139/cjp-2019-0019
- Krijtenburg-Lewerissa, K.; Pol, H. J.; Brinkman, A. & van Joolingen, W. R. (2017): Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. In: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 13 (1). DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109
- Küblbeck, J. & Müller, R. (2007): Die Wesenszüge der Quantenphysik. Modelle, Bilder, Experimente. 3., unveränd. Aufl. Köln: Aulis-Verl. Deubner (Praxis-Schriftenreihe Abteilung Physik, Bd. 60)
- Müller, R. (2016): Quanteninformation. Ein neues Paradigma für den Quantenphysik-Unterricht? In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 65 (1), S. 4
- Müller, R. (2003): Quantenphysik in der Schule. Logos Verlag Berlin
- Pospiech, G. & Schöne, M. (2012): Quantenphysik in Schule und Hochschule. In: PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 1-10
- Stadermann, H. K. E., van den Berg, E. & Goedhart, M. J. (2019): Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. In: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 15 (1), S. 10130. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland & Humboldt Universität zu Berlin (2020): Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. 1. Auflage. Köln: Carl Link Verlag
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996): Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In: Duit, R. und von Rhöneck, C. (Hg.): Lernen in den Naturwissenschaften, S. 250–274
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014): Design-Forschung. In: Krüger, D.: Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Hg. v. Parchmann, I. & Schecker, H. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Springer eBook Collection), S. 31–42