



*QuBIT EDU-Konferenz 2022  
des CZS Center QPhoton*

*Didaktik der Quantenphysik und  
Quantentechnologien*

21.09.– 23.09.2022 | Großer Hörsaal, Max-Wien-Platz 1, Jena



digitale Version  
des Programms

**QuBIT EDU**  
Quantendidaktik-Community  
Deutschland

# QUBIT EDU-KONFERENZ 2022 DES CZS CENTER QPHOTON

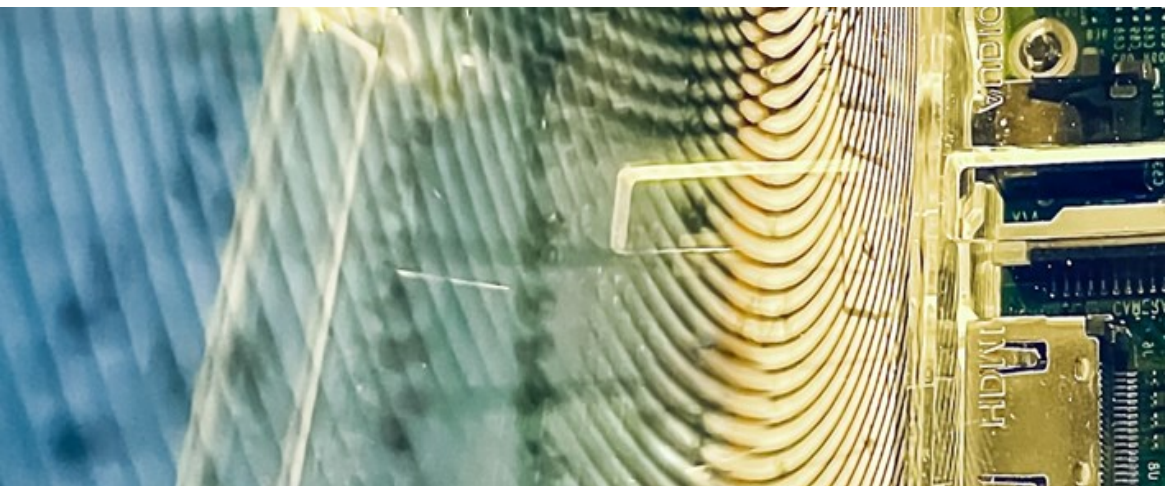
In QuBIT EDU sind die fachdidaktischen Forschungsgruppen vernetzt, die curriculare Entwicklungsarbeit und entsprechende empirische Forschungsprojekte auf dem Gebiet moderner Quantenphysik realisieren.

Die Tagung widmet sich der Didaktik der Quantenphysik mit besonderem Fokus auf Quantentechnologien. Es werden Lehrkonzepte, Praktika und empirische Studien vorgestellt und diskutiert. Forschende aus Physikdidaktiken, Lehrende an Schulen und Hochschulen sowie Lehramtsstudierende erhalten hier Einblick in die neuesten Entwicklungen aus den Quantentechnologien und didaktischen Fragen zu diesen.

Die Tagung wird veranstaltet durch das Carl-Zeiss-Stiftung Center for Quantum Photonics Jena - Stuttgart - Ulm. Das Projekt CZS Center QPhoton wird von der Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.

## GEBÜHREN

Tagungsgebühren werden nicht erhoben.



## W-LAN

Für eine WLAN-Verbindung können Sie das Netzwerk eduroam verwenden, sofern Sie von Ihrer Heimatinstitution einen Zugang dafür haben. In allen anderen Fällen, stellen wir Ihnen einen Account zur Verfügung.

Informationen erhalten Sie am Tagungsempfang.

## TAGUNGSORT UND TAGUNGSBÜRO:

Hörsaal 1

Max-Wien-Platz 1

07743 Jena

# PROGRAMM

Mittwoch, 21. September 2022

Thementag Schule

---

- 12:30 Uhr      ERÖFFNUNG DER TAGUNG  
und Einführung von Rainer Müller
- 13:00 Uhr -      Low-Cost Experimente für die Schule zur Quantenphysik  
13:45 Uhr      *Nils Haverkamp, Markus Gregor, Stefan Heusler*
- 13:45 Uhr -      Quantum Reasoning - Zum schulgemäßen Erklären  
14:30 Uhr      quantenphysikalischer Phänomene  
*Moritz Waitzmann, Rüdiger Scholz, Susanne Weißnigg*
- 15:00 Uhr -      Fehlvorstellungen zum Begriff der Superposition und  
15:45 Uhr      eine Überraschung  
*Oliver Passon, Andreas Woitzik*
- 15:45 Uhr -      Diskussion: Weiterentwicklungen für die Schule  
16:30 Uhr
- ab 18:00 Uhr      ÖFFENTLICHER ABENDVORTRAG  
IBM Quantum Roadmap und die Notwendigkeit von  
Holistischen Ökosystemen  
*Sieglinde Pfaendler, PhD*  
*IBM Quantum Researchers Program Global Lead*

# PROGRAMM

Donnerstag, 22. September 2022

Workshops und Thementag Hochschule

---

08:30 Uhr - WORKSHOPS

10:00 Uhr

***Philipp Scheiger:***

Aktivierende Leh-  
re zur Quanten-  
physik und Quan-  
tenttechnologien

***Stefan Aehle:***

Multiperspektiven  
-Ansatz durch  
Analogieversuche  
im Quantenphy-  
sik-Schülerlabor  
u. -unterricht

***Tobias Reinsch:***

Experimente zur  
Quantenphysik  
mit dem NV-  
Zentrum

und

10:30 Uhr -

12:00 Uhr

13:00 Uhr -

13:45 Uhr

QT Competence Framework: Qualification Profiles und  
Kompetenzlevel

*Franziska Greinert, Rainer Müller*

13:45 Uhr -

14:30 Uhr

Quantenmechanik mit Quantenpunkten – Von der Aufbe-  
reitung bis zum Experiment

*Kim Weber, Rüdiger Scholz*

15:00 Uhr -

15:45 Uhr -

Quantentechnologische Fortbildungsangebote für  
Industrie und europäisches Quantenmasterprogramm

*Anna Donhauser, Stefan Küchemann, Judith Gabel, Björn  
Ladewig, Lukas Sigl, Jan von Delft, Alex Holleitner,  
Tatjana Wilk, Jochen Kuhn*

15:45 Uhr -

16:30 Uhr

Zeitdynamik von Qubits am Beispiel des assistierten Tun-  
nelns

*Jonas Bley und Stefan Heusler*

16:30 Uhr -

17:15 Uhr

Diskussion: Weiterentwicklungen für die Hochschule

ab 19.00 Uhr

GEMEINSAMER SPAZIERGANG ZUM FUCHSTURM MIT  
GELEGENHEIT ZUM ABENDESSEN (Selbstzahler)

# PROGRAMM

Freitag, 23. September 2022

---

- 08:30 Uhr - PLENAR-WORKSHOP  
10:30 Uhr Experimental Quantum Technologies – Workshop zur praktischen Lehre in den Quantentechnologien  
*Falk Eilenberger, Rudrakant Sollapur, Frank Setzpfandt*
- 11:00 Uhr - Merkmale binärer Detektoren mit single-photon-Eignung -  
11:45 Uhr Experimente und Simulationen  
*Simon Haase, Kim Weber, Rüdiger Scholz*
- 11:45 Uhr - Diskussion: Weitere Arbeit in QuBIT EDU und  
12:45 Uhr Quantenphysik-Jahr 2025
- Ab 13:00 Uhr BESICHTIGUNG LICHTWERKSTATT JENA,  
BEUTENBERG-CAMPUS

POSTER WERDEN WÄHREND DER GESAMTEN TAGUNG  
IM HÖRSAALFOYER AUSHÄNGEN.

# VORTRAG

## Low-Cost Experimente für die Schule zur Quantenphysik

*Nils Haverkamp<sup>1</sup>, Markus Gregor<sup>2</sup>, Stefan Heusler<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*WWU Münster*

<sup>2</sup>*FH Münster*

In diesem Beitrag stellen wir einen Ansatz vor, Experimente in den Bereichen Quantenoptik und Quantensensorik als Schülerexperimente zugänglich zu machen.

Im Mittelpunkt stehen dabei 3D-gedruckte modulare optische Elemente, die zunächst in der Fachwissenschaft entwickelt wurden [1] und für den didaktischen Einsatz erweitert und adaptiert wurden [2].

[1] Diederich B, Lachmann R, Carlstedt S, Marsikova B, Wang H, Uwurukundo X, Mosig A S and Heintzmann R 2020 A versatile and customizable low-cost 3D-printed open standard for microscopic imaging *Nat. Commun.* **11** 5979

[2] Haverkamp Nils, Pusch Alexander, Heusler Stefan, Gregor Markus. 2022. 'A simple modular kit for various wave optic experiments using 3D printed cubes for education.' *Physics Education* 2022, Nr. 57: 1-13. doi: [10.1088/1361-6552/ac4106](https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac4106)

# VORTRAG

## Quantum Reasoning - Zum schulgemäßen Erklären quantenphysikalischer Phänomene

*Moritz Waitzmann, Rüdiger Scholz, Susanne Weißnigk*

*Leibniz Universität Hannover*

In dem Vorwort zur 2. Auflage von John Bells Aufsatzsammlung „Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics“ weist Alain Aspect auf die besondere Herausforderung durch die Erklärung der Quantenphysik von single objects hin. Gleichzeitig liefert das Verständnis der Quantenphysik einzelner Quanten die Grundlage für die technologisch höchst relevante sog. 2. Quantenrevolution (The Quantum Flagship; <https://qt.eu/>). Fundamental abweichende Grundprinzipien machen Erklärungen in der Quantenphysik bis heute immer wieder zu einem intellektuellen Abenteuer (Gisin, 2014): Während die deterministische und lokale klassische Physik, die kontinuierliche Veränderung realer physikalischer Größen beschreibt, ist die Analyse von völlig unanschaulichen abstrakten Zustandsfunktionen Kern quantenphysikalischer Erklärungen.

Die Bereitstellung klarer und eindeutiger sprachlicher Werkzeuge ermöglicht es quantenphysikalische Phänomene im Unterricht erklärbar zu machen, ohne Anlehnungen an die klassische Physik (Müller, 2003). Der hier vorgestellte Ansatz des Quantum Reasoning verfolgt dasselbe Ziel, und verwendet die quantenphysikalischen Grundprinzipien Probabilistik, Superposition und Interferenz. Mit Hilfe dieser drei Prinzipien PSI können prototypische Experimente der Schulquantenphysik erklärt werden (Scholz et al., 2020). Um den Ansatz im Unterricht zu motivieren, bedarf es eines geeigneten Schlüsselexperiments, welches ein Phänomen demonstriert, das klassisch nicht erklärbar ist und die Grundprinzipien PSI motiviert. Die Kombination aus Strahlteilerexperiment und Michelson Interferometer mit Einzelphotonen könnte ein solches Experiment sein. Das Ausbleiben von Koinzidenzen bei gleichzeitiger Interferenz steht im Widerspruch zur klassischen Physik, sodass eine kohärente und widerspruchsfreie Erklärung misslingt. Andersherum ermöglicht Quantum Reasoning das



Phänomen kohärent, widerspruchsfrei und fachlich angemessen zu erklären. Inwieweit der Ansatz aber tatsächlich geeignet ist *Quantum Reasoning* zu motivieren, ist bisher unbekannt (Scholz et al., 2020).

Der Vortrag stellt den Erklärungsansatz *Quantum-Reasoning* und seine Erprobung am quantenoptischen Schlüsselexperiment vor. Er liefert ausgewählte Ergebnisse einer Pre-Post-Studie im Mixed-Methods-Design mit 80 Studierenden vor.

Bell, J. S. (2004) *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 2. Aufl.

Gisin, N. (2014). *Der unbegreifliche Zufall: Nichtlokalität, Teleportation und weitere Seltsamkeiten der Quantenphysik*. Springer Berlin Heidelberg Springer e-books Imprint: Springer Spektrum.

Müller, R. (2003). *Quantenphysik in der Schule* (Bd. 26). Logos-Verl.

Scholz, R., Wessnigk, S., & Weber, K. A. (2020). A classical to quantum transition via key experiments. *European Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab8e52>

# VORTRAG

## Fehlvorstellungen zum Begriff der Superposition und eine Überraschung

*Oliver Passon<sup>1</sup>, Andreas Wotizik<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>AG Physik und ihre Didaktik, Bergische Universität Wuppertal*

*<sup>2</sup>Physikalisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

Die Quantenphysik ist seit vielen Jahren ein etablierter Inhalt der Oberstufenphysik. In jüngerer Zeit werden alternative Zugänge über die informationstheoretische Formulierungen der Quantentheorie diskutiert, bei denen sich konzeptionelle und begriffliche Schwerpunkte im Vergleich zu etablierten Elementarisierungen verändern.

Im Besonderen die Begriffe „Superposition“ und „Verschränkung“ werden bei diesen Zugängen in das Zentrum der Diskussion gerückt. Ebenfalls besteht ein breites öffentliches Interesse an den neuen Anwendungen der Quantenphysik wie dem Quantencomputer, das zu einer Vielzahl populärer Darstellungen geführt hat.

In diesem Vortrag identifizieren wir verbreitete Ungenauigkeiten und Fehler in diesen Darstellungen, erläutern den fachlichen Hintergrund und machen erste Empfehlungen, um Missverständnisse zu vermeiden. Unser Schwerpunkt liegt dabei zunächst auf dem Begriff der „Superposition“.

# VORTRAG

## QT Competence Framework: Qualification Profiles und Kompetenzlevel

*Franziska Greinert, Rainer Müller*

*Technische Universität Braunschweig, IFdN, Physikdidaktik*

Das European Competence Framework for Quantum Technologies bietet einen Überblick über die Inhalte und Kompetenzen

rund um moderne Quantentechnologien.

Während in dem Framework möglichst viele Aspekte aus diesem großen, sich im Entstehen befindlichen Feld abgebildet werden, fokussieren sich die Auswahlen in den Qualification Profiles auf die Schwerpunkte, die in einzelnen Bildungswegen gelegt werden können. Sie bieten somit einen Ansatzpunkt für die Planung von Aus- und Weiterbildungsprogrammen.

Noch offen ist jedoch die Formulierung konkreter Kompetenzlevel für die einzelnen Bereiche des Competence Frameworks.

Thematisiert werden die Entwicklung des Frameworks und insbesondere der Qualification Profiles im Quantum Flagship Projekt QTedu CSA ([qtedu.eu/](http://qtedu.eu/)) sowie die Pläne zur Fortführung im Rahmen des Anschlussprojektes Qucats.

# VORTRAG

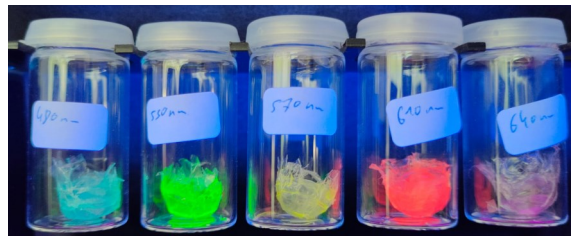
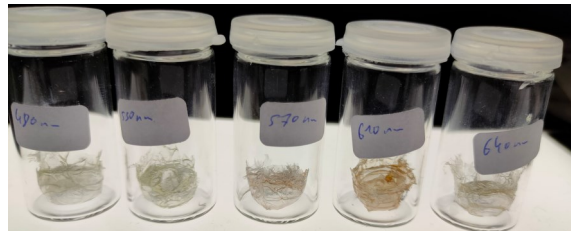
## Quantenmechanik mit Quantenpunkten – Von der Aufbereitung bis zum Experiment

*Kim-Alessandro Weber, Rüdiger Scholz*

*Leibniz Universität Hannover, Institut für Quantenoptik*

Quantenpunkte sind ein Beispiel für ein Quantensystem, welches es bereits geschafft hat alltagsrelevant zu sein: Die Fluoreszenzeigenschaften von Quantenpunkten hängen maßgeblich von ihrer Größe ab, denn ihr Durchmesser schränkt den Raum für die Wechselwirkung von Elektron und Loch im Halbleiter ein. Quantenpunkte werden daher in Monitoren eingesetzt, um durch die nahezu frei definierbaren Fluoreszenzeigenschaften eine standardisierte Wiedergabe des Farbraumes zu erreichen.

Die Fluoreszenz von Quantenpunkten kann mit Hilfe des Kastenpotentials modelliert werden, vgl. Brusformel. Spektroskopische Untersuchungen an Quantenpunkten bieten daher die Möglichkeit die Beschreibung von quantenmechanischen Systemen mit der Schrödingergleichung erfahrbar zu machen.



*Abbildung 1: Quantenpunkte konserviert in Kunststoff. Oben bei Tageslicht, unten bei Beleuchtung mit UV-Licht.*

Im Vortrag wird die Konservierung der Quantenpunkte für den Einsatz in der Lehre beschrieben, die Modellierung der Fluoreszenz vorgestellt und die spektroskopische Untersuchung demonstriert.

## VORTRAG

### Quantentechnologische Fortbildungsangebote für Industrie und europäisches Quantenmasterprogramm

*Anna Donhauser<sup>1</sup>, Stefan Küchemann<sup>1</sup>, Judith Gabel<sup>2</sup>,  
Björn Ladewig<sup>2</sup>, Lukas Sigl<sup>3</sup>, Jan von Delft<sup>2</sup>, Alex Holleitner<sup>3</sup>,  
Tatjana Wilk<sup>4</sup>, Jochen Kuhn<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Lehrstuhl für Didaktik der Physik, LMU München*

<sup>2</sup> *Lehrstuhl für theoretische Festkörperphysik, LMU München*

<sup>3</sup> *Walter-Schottky-Institut, TU München*

<sup>4</sup> *Munich Center for Quantum Science and Technology,  
München*

Quantentechnologien haben in den letzten Jahren zunehmend ihren Weg aus den Laboratorien hin zur industriellen Anwendung gefunden. Gleichzeitig steht die Forschung jedoch nicht still. Entsprechend muss die industrielle „quantum workforce“ mit aktuellem Wissen versorgt und ein grundlegendes Verständnis der verschiedenen Teilbereiche der Quantenphysik aufgebaut werden. Nur so lassen sich industrielle Anwendung und Grundlagenforschung verbinden. Dadurch entsteht ein steigender und umfassender Aus- und Weiterbildungsbedarf.

Aus diesem Grund etablieren die Münchener Universitäten und Forschungszentren neben dem universitären Master-Studiengang *Quantum Science & Technology* das Weiterbildungsprogramm *Quantum Life Long Learning (QL3)* für Fach- und Führungskräfte. QL3 bietet bedarfsorientiert maßgeschneiderte Weiterbildungskurse, die mittels theoretischen und experimentellen Lerneinheiten Quantentechnologie erfahrbar machen. Drei unterschiedliche, nach Vorkenntnissen und Zielen differenzierte Kursstrukturen geben nicht nur Fachkräften wie Ingenieur\*innen und Informatiker\*innen, sondern auch Produktmanager\*innen und Geschäftsführer\*innen die Möglichkeit, die Quantenphysik in unterschiedlichen Komplexitätsgraden zu verstehen.

Neben QL3 sind die LMU und TUM auch Partner in einem europäisch ausgerichteten *Digitally Enhanced European Quantum Technology* (DigiQ) Masterprogramm, wodurch Studierende aus 24 europäischen Universitäten ihren Masterstudiengang durch ein vielfältiges Angebot an Quantentechnologiemodulen und -kursen auf individuelle Interessen ausrichten können. Die Kombinationsmöglichkeiten reichen von experimentellen und theoretischen Kursen, welche sowohl online als auch vor Ort angeboten werden, bis hin zu industriellen Praktika.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über QL3 und das DQ-Masterprogramm.

# VORTRAG

## Zeitdynamik von Qubits am Beispiel des assistierten Tunnelns

*Jonas Bley, Stefan Heusler*

*WWU Münster*

Im Vortrag stellen wir ein einfaches und allgemeines Modell für die Zeitdynamik einzelner Qubits vor. Als Anwendungsbeispiel diskutieren wir das Tunneln als einen prominenten Effekt in der Quantenphysik mit vielen Anwendungsgebieten.

Wir haben das kürzlich vorgeschlagene SUPER-Prinzip (Swing-UP of a quantum EmitteR population) mit nicht-resonanten Laserpulsen auf den Kontext des Tunnelns übertragen. Dazu verwendeten wir die Software Quantum Composer und ein zeitlich veränderliches Doppelmuldenpotential und zeigten, dass durch die richtige Frequenz die Tunnelwahrscheinlichkeit um ein Vielfaches erhöht werden kann.

Wir diskutieren die didaktischen Möglichkeiten dieses Ansatzes, der die Forschung mit der Hochschullehre verbinden kann.

# VORTRAG/PLENARWORKSHOP

## Experimental Quantum Technologies – Workshop zur praktischen Lehre in den Quantentechnologien

*Falk Eilenberger<sup>1,2</sup>, Rudrakant Sollapur<sup>1</sup>, Frank Setzpfandt<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Institut für Angewandte Physik, Abbe Center of Photonics,  
Friedrich-Schiller-Universität Jena,*

*<sup>2</sup>Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik,  
Jena, Germany*

Das Hauptaugenmerk in der universitären Ausbildung zur Quantenmechanik liegt bisher auf der Vermittlung fundamentaler Kenntnisse und Methoden mit der Zielstellung, zukünftige Grundlagenforscher auszubilden. Mit dem Voranschreiten der zweiten Quantenrevolution werden Quantenphänomene in immer stärkerem Maße auch in kommerziell vermarktbareren Anwendungen und in industriellen Umfeldern genutzt. Für diese Zielgruppen treten viele grundlegende Aspekte der Quantenmechanik und Quantenphysik etwas in den Hintergrund, während eine breite Wissensbasis im angewandten Feld der Quantentechnologien, welches neben Grundlagen auch praktische Aspekte der Implementierung und Anwendung von Quantensystemen umfasst, an Bedeutung gewinnt. Darauf sollte auch die universitäre Ausbildung reagieren.

Ein wesentlicher Aspekt bei dieser Hinwendung der Ausbildung zu den Bedarfen von Anwendern ist die Aufnahme von praktischen Ausbildungsinhalten speziell für die Quantentechnologien in universitäre Curricula. Im Workshop wollen wir dazu Umsetzungsbeispiele zeigen und diskutieren, welche an der Friedrich-Schiller-Universität Jena im Rahmen einer Lehrveranstaltung für „Experimental Quantum Technologies“ für Masterstudierende entstanden sind. Dabei sollen auch Experimente gezeigt und zum Teil auch selbst nachvollzogen werden können.



Die Lehrveranstaltung „Experimental Quantum Technologies“ hat das Ziel, Studierenden innerhalb eines Standardmoduls mit 2+1 Semesterwochenstunden eine praktische Erfahrung mit Quantentechnologien zu ermöglichen. Dazu wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt, welche durch eine kurze Vorlesungsreihe begleitet wurden.

Nach einer Einführung wird der erste Teil des Workshops Experimente zum Quantencomputing behandeln, welche Studierende an Grundkonzepte der Quanteninformationsverarbeitung heranführen sollen. Dabei wird die Programmierumgebung QISKIT und die IBM-Quantencomputerinfrastruktur genutzt. Die Vorführung kann während des Workshops durch die Teilnehmer an ihren eigenen Computern nachvollzogen werden, Materialien dazu werden im Vorfeld bereitgestellt [1].

Der zweite Teil wird sich auf Experimente zur Quantenoptik konzentrieren. Es wird das Konzept vorgestellt, wie derartige Experimente in das 2+1 Modul integriert werden können, außerdem werden auch Beispieleexperimente vorgeführt. Daneben sollen auch Aspekte der Digitalisierung derartiger Praktikumsversuche sowie die Entwicklung von preiswerten Experimenten diskutiert werden.

[1] <https://www.iap.uni-jena.de/microstructure-technology/research-group-photonics-in-2d-materials/teaching>

# VORTRAG

## Merkmale binärer Detektoren mit single-photon-Eignung – Experimente und Simulationen

*Simon Haase<sup>1</sup>, Kim Weber<sup>1</sup>, Rüdiger Scholz<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Leibniz Universität Hannover, Institut für Quantenoptik*

*<sup>2</sup> Leibniz Universität Hannover, CRS 1207/DQ-mat Designed Quantum States of Matter*

Die technologische Entwicklung bei den Lichtquellen und bei den Detektoren der letzten 20 Jahre machte es möglich, Experimente mit einzelnen Photonen mit einem abnehmenden finanziellen Aufwand durchzuführen. Gleichzeitig haben diese Experimente den didaktisch erheblichen Reiz, dass ihre Interpretation ohne die im Bereich der traditionellen Quantenphysikeinführungen bewährten Ensemblesnäherungen auskommen können und müssen. Schon dadurch gerät ein so gewählter Zugang dichter an “fundamentals” der Quantentheorie. Gleichzeitig hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass Anwendungen gerade auch von Einzelquantenzuständen zunehmende technologische Bedeutung erlangt haben (Stichwort 2. Quantenrevolution, Quantencomputing, Quantensensotrik). Versuche, das Equipment für bspw. Einzelphotonversuche auch im Low-Cost-Bereich verfügbar zu machen, sind daher direkt plausibel [1,2].

In diesem Beitrag berichten wir über unsere Versuche, auf der Detektorseite den finanziellen Aufwand durch eine spezifische Auswahl der Avalanche-Dioden deutlich zu reduzieren. Als Kriterien für die Auswahl wurden folgende Charakteristika untersucht:

- Totzeit
- Afterpulsing
- Quanteneffizienz
- Dunkelzählrate
- Konstanz des Photon-to-Signal Delay (Time-Jitter)

Der Einfluss der Ausprägungen dieser Merkmale auf die Zählstatistik wurde experimentell untersucht und die Modellbildung durch entsprechende Simulationen geprüft [3].

#### Literatur

1. Weber, K.-A., Friege, G., and Scholz, R. (2020). Quantenphysik in der Schule – Was benötigen Lehrkräfte?  $\boxtimes$  Ergebnisse einer Delphi-Studie. ZfdN, Volume 26, pp. 173–190
2. 15. EU 2020 Quantum flagship: Understand quantum technologies (<https://qt.eu/about-quantum-flagship/>) accessed: August 14th 2022
3. Haase, S. (2021). Masterarbeit (nicht publiziert)

# WORKSHOP

## Aktivierende Lehre zur Quantenphysik und Quantentechnologien

*Philipp Scheiger*

*AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena*

*Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart*

Interaktive und kognitiv aktivierende Lehre hat sich im Physikunterricht und in universitären Einführungsvorlesungen etabliert. Eine Verbesserung des Lernerfolgs bei Schüler\*innen, bzw. bei Studierenden mithilfe solcher Lehre ist hinreichend belegt. In fortgeschritteneren Themenfeldern wie der Quantenmechanik gibt es jedoch im deutschsprachigen Raum noch wenig konkrete Umsetzungen dieser Lehrkonzepte im universitären Umfeld.

In diesem Workshop sollen Beispiele präsentiert und diskutiert werden, wie sich kognitiv aktivierende Lehre mit Methoden der Peer Instruction, Worked Examples, Versprachlichung und Verbildlichung von Formeln und der didaktischen Reduktion physikalischer Inhalte und Methoden in der Quantenphysik umsetzen lassen.

# WORKSHOP

## Multiperspektiven-Ansatz durch Analogieversuche im Quantenphysik-Schülerlabor und -unterricht

*Stefan Aehle<sup>1</sup>, Philipp Scheiger<sup>1,2</sup>, Holger Cartarius<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena*

*<sup>2</sup> Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart*

Ein besonderes Problem des Quantenphysikunterrichts besteht in der inhaltlichen Fremdartigkeit des Themas, dessen Ferne von der Alltagswelt der Lernenden, und der entsprechend geringen Zahl an Anknüpf- und Bezugspunkten. Um so wichtiger scheint es, quantenphysikalische Phänomene aus verschiedenen (Lehr-Lern-)Perspektiven zu untersuchen und vielfältige Zugänge zum Fach zu schaffen.

In diesem Workshop werden Analogieversuche zur Polarisierung von Einzelphotonen vorgestellt, die ein solches, multiperspektivisches Unterrichtskonzept unterstützen sollen: Unter Rückgriff auf die bewährten „Wesenszüge der Quantenphysik“ wird hier erprobt, klassisch-physikalische Versuche, Analogiemodell, und quantenphysikalische Real-Experimente so zu kombinieren, dass ein Konzept für anschaulichen, modernen Quantenphysikunterricht entsteht.

Welche Erkenntnisse wir aus einem Testlauf mit Lernenden im Schülerlabor ziehen konnten, wird ebenfalls präsentiert.

# WORKSHOP

## Experimente zur Quantenphysik mit dem NV-Zentrum

*Tobias Reinsch, Ronny Nawrodt*

*Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart*

Der Workshop gibt einen inhaltlichen Einstieg rund um NV-Zentren und deren Möglichkeiten zum Einsatz in der Lehre. Inhaltlich liegt der Fokus auf diskreten Energieniveaus, Spins, Überlagerungszuständen und dem Zeeman-Effekt. Zudem wird es einen praktischen Teil geben, in dem an einem optischen Aufbau unter anderem die Fluoreszenz und der Zeeman-Effekt des NV-Zentrums genauer untersucht werden kann.

Im Ausblick soll das NV-Zentrum als einfaches Qubit für die Ausbildung diskutiert werden.

# ÜBERSICHT POSTER

Gekoppelte Oszillatoren als Analogie in der modernen Physik

*Kim Kappl, Ronny Nawrodt, Harald Kübler*

An Approach to Quantum Physics Teaching through Analog Experiments

*Stefan Aehle, Philipp Scheiger, Holger Cartarius*

Qualitative Quantenphysik in Klassenstufe 9 - Ein Unterrichtskonzept mit Spin-First-Ansatz

*Carsten Albert, Gesche Pospiech*

Analyse und Gestaltung von Erklärvideos am Beispiel der Quantenverschränkung

*Tom Geyer - Technische Universität Dresden*

QuantumVR: VR-Escape-Game zur Quantenprogrammierung

*Franziska Greinert, Rainer Müller, Linus Krieg, Tobias Voss*

Versuchsangebote im Rahmen von MasterClass-Workshops

*Tim Overwin, Azadeh Ghanbari, Hendrik Preuß, Rainer Müller*

QuanTUK: Konzeption eines berufsbegleitenden Masterstudiengangs für Quantentechnologie an der TU Kaiserslautern

*Eva Rexigel, Sebastian Zangerle, Jochen Kuhn, Artur Widera*

Quantum Skills" - Eine Initiative des Stifterverbandes für Quantenbildung in der Breite

*Andreas Wormland, Stifterverband*

Experimente zur Wellen- und Quantenoptik mit dem O3Q-Set

*Nils Haverkamp, Markus Gregor, Stefan Heusler*

# POSTER

## Gekoppelte Oszillatoren als Analogie in der modernen Physik

*Kim Kappl<sup>1</sup>, Ronny Nawrodt<sup>1</sup>, Harald Kübler<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Universität Stuttgart, Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart*

*<sup>2</sup> Universität Stuttgart, Physikalisches Institut, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart*

Harmonische Oszillatoren spielen in der Physik eine wichtige Rolle. Durch Kopplung einzelner Oszillatoren und Variation ihrer Kopplungsstärke können Effekte der modernen Physik in einfachen Experimenten erfahrbar gemacht werden. Wir präsentieren einen Aufbau für den Einsatz im Praktikum, der eine einfache Variation der Parameter eines gekoppelten Systems von Oszillatoren ermöglicht. Anhand dieses experimentellen Systems ist es möglich, beispielsweise die Entstehung der Bandlücke in Festkörpern oder aber die elektromagnetisch induzierte Transparenz zu untersuchen.



## POSTER

### An Approach to Quantum Physics Teaching through Analog Experiments

*Stefan Aehle<sup>1</sup>, Philipp Scheiger<sup>1,2</sup>, Holger Cartarius<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena*

*<sup>2</sup> Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart*

With quantum physics being a particularly difficult subject to teach, because of its contextual distance from everyday life, the need for multi-perspective teaching material arises. Quantum physics education aims at exploring these methods but often lacks physical models and haptic components. With this poster, we present an analog model and corresponding teaching concept that provides analogies to quantum phenomena for implementation in secondary school and university classrooms: It focusses on polarization of single photons and the deduction of reasoning tools for elementary comprehension of quantum theory. We show, how working with a physical model to compare classical and quantum perspectives has proven helpful for novice learners to grasp the abstract nature of quantum experiments and discuss our findings as an addition to existing quantum physics teaching concepts

# POSTER

## Qualitative Quantenphysik in Klassenstufe 9 - Ein Unterrichtskonzept mit Spin-First-Ansatz

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

<sup>1</sup>*Technische Universität Dresden*

<sup>2</sup>*Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden*

Zugänge mit dem Schwerpunkt auf Quantentechnologien erscheinen vielversprechend, um den schulischen Einstieg in die Quantenphysik zu ermöglichen. Damit verbundene Zweizustandssysteme könnten aufgrund ihrer Übersichtlichkeit dabei auch für einen qualitativen Einstieg in die Quantenphysik in der Mittelstufe geeignet sein.

Im Rahmen der vorgestellten Promotion ist es das Ziel, ein Konzept für einen einführenden qualitativen Unterricht zur Quantenphysik in der gymnasialen Mittelstufe (Klasse 9) zu entwickeln und dessen Wirkung v. a. qualitativ zu evaluieren.

Das entwickelte Unterrichtskonzept nutzt den Elektronspin als Qubit und erarbeitet an ihm qualitativ Wesenszüge der Quantenphysik – bis hin zur grundlegenden Idee des Quantencomputers.

Das Poster gibt einen Überblick über die Forschungsidee, den Aufbau und die Kernelemente des Unterrichtskonzeptes sowie die geplante Methodik.

# POSTER

## Analyse und Gestaltung von Erklärvideos am Beispiel der Quantenverschränkung

*Tom Geyer*

*Technische Universität Dresden*

Aufgrund des technologischen Fortschritts in den letzten Jahrzehnten findet in der Gesellschaft und Bildung ein Paradigmenwechsel statt. Besaßen 2010 gerade einmal 13,5 % der 12- bis 19-jährigen Jugendlichen ein internetfähiges Handy, sind es heute bereits 98 %. (vgl. Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest 2010, 2021) Gleichzeitig spiegelt sich diese Entwicklung auch im Lernverhalten der Schülerinnen und Schüler wider. Wurden damals vorwiegend Schulbücher und Lernhilfen als passende Ergänzungen zum Unterricht gewählt, gewinnen heute vor allem Erklärvideos immer mehr an Popularität. Dabei stellt sich vordergründig die Frage nach deren Güte.

Das Ziel der Arbeit, welche kompakt auf dem Plakat zusammengefasst wurde, ist die Analyse der Qualität zweier solcher Lehrvideos von YouTube zum Thema der Quantenverschränkung anhand eines konkreten Bewertungsmaßstabs nach Kulgemeyer (vgl. Kulgemeyer 2018), sowie die anschließende Erstellung eines eigenen Erklärvideos.

Es stellt sich heraus, dass das Video „Schneller als Licht?! – Quantenverschränkung“ des sehr populären Kanals „Physik – simpleclub“ trotz einer hohen Anschaulichkeit einige fachliche Mängel aufweist. Der Hauptkritikpunkt liegt in der Aussage, dass eine gezielte Informationsübertragung mit Überlichtgeschwindigkeit möglich sei. Deutlich präziser durch sehr gute Erklärungen und passend gewählte Gestaltungsmittel wird das Thema von „Raumzeit – Vlog der Zukunft“ in dem Video „Quantenverschränkung – Reden schneller als das Licht?“ erläutert. Durch eine Gesamtdauer von 21:50 Minuten überschreitet

es jedoch deutlich die maximale „engagement time“ von 6 Minuten (vgl. Guo, Kim, Rubin 2014) und entspricht somit nicht dem Bewertungskriterium einer minimalistischen Darstellung. Aus der Analyse resultierend wurde ein eigenes Erklärvideo zum Thema der Quantenverschränkung erstellt.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass Lehrpersonen die Lernenden für einen bewussten Umgang mit Internetquellen sensibilisieren sollten. Denn eine hohe Anschaulichkeit und angenehme Simplifizierungen können eine mangelnde Didaktisierung und schwerwiegende fachliche Fehler verhüllen.

### **Referenzen:**

Guo, P. J., Kim, J., & Rubin, R. (2014). How Video Production Affects Student Engagement: An Empirical Study of MOOC Videos. S.4

Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest (2010). JIM 2010 Jugend, Information, (Multi-)Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Stuttgart. S. 6

Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest (2021). JIM 2021 Jugend, Information, (Multi-)Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Stuttgart. S. 5

Kulgemeyer, C. (2018). Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. In: Computer +Unterricht. S. 10

# POSTER

## QuantumVR: VR-Escape-Game zur Quantenprogrammierung

*Franziska Greinert<sup>1</sup>, Rainer Müller<sup>1</sup>, Linus Krieg<sup>2</sup>, Tobias Voss<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Technische Universität Braunschweig, IFdN, Physikdidaktik*

*<sup>2</sup>Technische Universität Braunschweig, Institut für Halbleitertechnik*

Im Projekt QuantumVR entstand ein VR-Spiel für den Einstieg in die gatterbasierte Quantenprogrammierung zum Einsatz bei Outreach-Events. Bei dem Spiel mit Escape-Elementen in virtueller Realität (VR) müssen kleine Quantenalgorithmen durch Platzieren einfacher Quantengatter (X, H und CX) gelöst werden, um Tiere zu befreien. Dabei werden keine Quanten-Vorkenntnisse benötigt, sondern die nötigen Inhalte schrittweise grundlegend eingeführt und über Eselsbrücken mit den zu befreienden Tieren verknüpft.

## POSTER

### Versuchsangebote im Rahmen von MasterClass-Workshops

*Tim Overwin, Azadeh Ghanbari, Hendrik Preuß, Rainer Müller*

*Technische Universität Braunschweig – Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physik und Physikdidaktik*

MasterClass-Workshops bieten Schulklassen die Möglichkeit, einen Einblick in aktuelle physikalische Versuche und den Laboralltag physikalischer Forschung zu bekommen. Dabei sollen Interesse, Motivation und das Verständnis von – meist quantenmechanischen – Phänomenen gefördert werden. Die Workshops werden mit höheren Klassenstufen von Gymnasien oder Gesamtschulen entweder mobil in den Schulen oder in der TU mit anschließender Labortour im „Laboratory for Emerging Nanometrology“ durchgeführt.

## POSTER

### QuanTUK: Konzeption eines berufsbegleitenden Masterstudiengangs für Quantentechnologie an der TU Kaiserslautern

*Eva Rexigel<sup>1</sup>, Sebastian Zangerle<sup>1</sup>, Jochen Kuhr<sup>2</sup>, Artur Widera<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Technische Universität Kaiserslautern, Erwin-Schrödinger Str. 46, 67663 Kaiserslautern*

*<sup>2</sup>Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München*

Die Anwendung quantenphysikalischer Zusammenhänge bietet viele neue Möglichkeiten für Industrieunternehmen. Sie stellt entsprechende Arbeitskräfte jedoch auch vor neue Herausforderungen, da Grundlagenkenntnisse in den Quantentechnologien meist nicht ausreichend vorhanden sind. Im Rahmen des Projekts QuanTUK wird deshalb ein berufsbegleitender Masterstudiengang in Quantentechnologien für Fachkräfte aus der Industrie entwickelt. Im Rahmen von Vorlesungen und Praktika sowie angepasst an ihre Vorerfahrungen lernen die Teilnehmenden hierbei die Grundlagen der Quantentechnologien. Ausgerichtet am Bedarf der Industrie kann dieses Wissen weiter vertieft werden in den Bereichen Quantencomputer, Quantensimulation, Quantensensorik, Quantenkryptografie und zugrundeliegender Technologien. Die Konzeption des Studiengangs wird begleitet durch eine didaktische Evaluation, um den bestmöglichen Lernfortschritt zu erreichen und hochqualifizierte Fachkräfte im Bereich der Quantentechnologie auszubilden.

## POSTER

### „Quantum Skills“ - Eine Initiative des Stifterverbandes für Quantenbildung in der Breite

*Andreas Wormland*

*Stifterverband*

Mit der Initiative „Quantum Skills“ möchte der Stifterverband „quantenbezogene Bildung“ in der Breite stärken und einen politischen Impuls setzen. In verschiedene Aktivitäten wie Arbeitsgruppen und Fellowships werden Empfehlungen erarbeitet sowie Best-Practices identifiziert und gefördert. Ziel ist es, bis 2025 ein politisches Commitment zu erreichen, die relevanten Kompetenzen strukturell in Lehrkräfteausbildung und Schule zu verankern. Flankierend spielen auch Aktivitäten in den Bereichen außerschulischer Bildung und Life Long Learning eine Rolle.

Wir freuen uns darauf, mit den Gästen über die Planungen und Maßnahmen ins Gespräch zu kommen.



## POSTER

### xperimente zur Wellen- und Quantenoptik mit dem O3Q-Set

*Nils Haverkamp<sup>1</sup>, Markus Gregor<sup>2</sup>, Stefan Heusler<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>WWU Münster*

*<sup>2</sup>FH Münster*

Das Low-Cost Experimentiermaterial, das bereits im Vortrag "Low-Cost Experimente für die Schule zur Quantenphysik" vorgestellt wurde, ist für den Einsatz als Schülerexperiment entwickelt worden. Durch den modularen Aufbau können mit dem O3Q-Set verschiedene Experimente realisiert werden.

Das Material kann hier selbst unter die Lupe genommen und ausprobiert werden. Aufgrund einfacher Anleitungen sind Aufbau und Justage schnell umgesetzt.

Stand: 18. September 2022

## KONTAKT

Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Physikalisch-Astronomische Fakultät  
AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie  
Prof. Dr. Holger Cartarius  
Max-Wien-Platz 1  
07743 Jena

Telefon: +49 3641 9-474 90/93  
E-Mail: [pad-tagung@uni-jena.de](mailto:pad-tagung@uni-jena.de)

Herausgeber: Physikalisch-Astronomische Fakultät / AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie  
Foto: Stefan Aehle | Layout: Diana Stieber, nach einer Vorlage der Abteilung Hochschulkommunikation

Die Tagung wird veranstaltet durch das Carl-Zeiss-Stiftung Center for Quantum Photonics Jena - Stuttgart - Ulm. Das Projekt CZS Center QPhoton wird von der Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.



[www.qubit-edu.de](http://www.qubit-edu.de)