

## Quanteninformatik in der Lehrerbildung mit Transfer in den berufsorientierenden Unterricht

Gesche Pospiech\*, Moritz Förster\*

\*Technische Universität Dresden, Professur für Didaktik der Physik  
[gesche.pospiech@tu-dresden.de](mailto:gesche.pospiech@tu-dresden.de), [moritz.foerster@tu-dresden.de](mailto:moritz.foerster@tu-dresden.de)

### Kurzfassung

Quantentechnologien der zweiten Generation gewinnen rasant an Bedeutung. Da aus diesem Grund ein hoher Bedarf an Spezialist:innen in diesem Bereich erwartet wird, sollte das Interesse an diesem Gebiet bereits in der Schule gefördert werden. Lehrkräfte spielen hierbei eine zentrale Rolle. Sie sollten dazu befähigt werden, Schüler:innen in dieses Themengebiet einzuführen, Unterrichtseinheiten zu gestalten und Einblicke in entsprechende berufliche Kontexte geben zu können. Zu diesem Zweck wurde eine universitäre Lehrveranstaltung entwickelt, die neben theoretischen Grundlagen zu Quantentechnologien und Quanteninformatik direkte Erfahrungen im Berufsfeld durch ein didaktisch angeleitetes Industriepraktikum ermöglicht. Basierend auf diesen Einblicken sollen Lehramtsstudierende befähigt werden, berufsorientierende Unterrichtseinheiten zu gestalten. Die Lehrveranstaltung wird mittels leitfadensbasierter Interviews evaluiert. Erste Ergebnisse werden hier präsentiert.

### 1. Einführung

Quantentechnologien gewinnen unter dem Stichwort „Quantenrevolution 2.0“ in den letzten Jahren massiv an Bedeutung und werden insbesondere im Kontext des Quantencomputers auch in der Öffentlichkeit stark diskutiert (Pospiech, 2021).

Die möglichen Anwendungen gehen aber weit darüber hinaus. Sie umfassen neben den Quantencomputern auch Quantenkryptographie mit der Vision eines Quanteninternets, Quantenmetrologie oder Quantensensorik, deren Bedeutung in zahlreichen Lebensbereichen, darunter medizinischen Anwendungen, stark zunimmt und besonders intensiv im industriellen Kontext beforscht und entwickelt wird.

Damit umfassen die Quantentechnologien ein weites und vor allem auch interdisziplinäres Feld, in dem Aspekte der Informatik (z.B. Quantenalgorithmien oder -kryptographie), physikalische Grundlagen (beispielsweise für die Realisierung von Quantencomputern oder Quantensensoren), ingenieurwissenschaftliche Problemstellungen sowie Kenntnisse aus den verschiedenen Anwendungsgebieten zusammenfließen müssen.

In dem sich hieraus entwickelnden Industriezweig entsteht somit ein erwartbar wachsender Bedarf an spezifisch ausgebildeten Fachkräften. Neben der Deckung des Bedarfs durch Weiterbildung im Beruf sowie durch Studienangebote in den Ingenieurwissenschaften wird es zur ausreichenden Fachkräfterekrutierung notwendig sein, zusätzlich potentiell Interessierten entsprechende berufliche Möglichkeiten aufzuzeigen.

### 1.1. Motivation

Der absehbare Bedarf an Fachkräften, die bereit und fähig zum Quantendenken sind, das heißt, die mit den quantenspezifischen Charakteristika, die sich von der klassischen Physik grundsätzlich unterscheiden, umgehen und sie zur Problemlösung einsetzen können, erfordert bereits Maßnahmen in der schulischen Bildung (Stifterverband, 2023). Darüber hinaus sollten aber auch die künftigen Nicht-Fachkräfte, zum Beispiel Abiturient:innen, grundsätzlich in der Lage sein, einzuordnen, was die Quantentechnologien prinzipiell leisten können. Dies erfordert ein grundlegendes Verständnis der quantenphysikalischen Prinzipien, um eine Vorstellung davon entwickeln zu können, wie die Quantentechnologien funktionieren. Dabei erscheint für Lernende insbesondere der Bereich der Quanteninformatik interessant, nicht zuletzt auf Grund der Berichterstattung in den Medien und einer starken Präsenz im Internet, beispielsweise auf YouTube. Zudem bietet gerade dieser Bereich der Quantentechnologien die Möglichkeit, den allgemeinbildenden Anspruch und die Berufsorientierung miteinander zu verbinden (Pospiech, 2024).

Zudem kommt Lehrkräften als wichtigen Personen für die Berufsorientierung die Aufgabe zu, ihren Schüler:innen eine entsprechende Orientierung geben zu können (Stifterverband, 2023). Damit müssen Quantentechnologien respektive Quanteninformatik für Lehrkräfte allerdings selbst greifbar werden.

### 1.2. Zielsetzung

Aus diesen beschriebenen Anforderungen ergibt sich das Ziel, dass Lehrkräfte zum einen direkte Einblicke in die Entwicklung und Nutzung von Quanten-

technologien in Industrie oder Forschungsunternehmen erhalten und so Schüler:innen aus erster Hand berichten können. Zum anderen sollen Lehrkräfte befähigt werden, ausgewählte Aspekte des Berufsfeldes in einem Unterrichtskonzept so umzusetzen, dass ihre Schüler:innen gleichfalls einen authentischen Einblick erhalten und gegebenenfalls motiviert werden, einen entsprechenden Beruf in Betracht zu ziehen.

Die erforderlichen Einblicke und Kenntnisse sollen künftige Lehrkräfte, das heißt Lehramtsstudierende, in einer universitären Lehrveranstaltung erhalten, die die verschiedenen Anforderungen miteinander verknüpft. Ferner soll auch eine entsprechende Lehrkräftefortbildung entwickelt werden.

## 2. Einordnung in den Forschungsstand

Der Physikunterricht hat sowohl eine allgemeinbildende (Kircher, Girwidz & Häußler, 2022; DPG, 2016) als auch eine berufsorientierende Aufgabe (Mujtaba & Reiss, 2016). Auch wenn in Deutschland im internationalen Vergleich sehr viele Studienanfänger:innen ein MINT-Studium aufnehmen (OECD, 2019), besteht dennoch nach wie vor ein starker Fachkräftebedarf in diesem Bereich (Anger, Betz & Plünnecke, 2024). In den Quantentechnologien, die im Moment rasant wachsen und hochqualifizierte Spezialist:innen aus den unterschiedlichsten Gebieten, wie etwa der Physik, Chemie, Informatik, Elektrotechnik oder Halbleitertechnologien benötigen, möchte man durch besondere Anstrengungen einem Mangel vorbeugen (Krimphove, 2022).

Kurzfristig sind hier berufsbegleitende Qualifizierungsmaßnahmen möglich, aber mittel- und langfristig werden auch grundständig ausgebildete Spezialist:innen auf unterschiedlichen Qualifikationsstufen nötig sein. Ein möglicher Weg besteht darin, Absolvent:innen allgemein- und berufsbildender Schulen auf entsprechende Berufsmöglichkeiten aufmerksam zu machen.

Bei der Entscheidung für eine Ausbildung oder ein Studium spielen nach Aussagen von Abiturient:innen Projektwochen oder persönliche Gespräche mit Lehrkräften eine besonders wichtige Rolle (Risius, Malin, & Flake, 2017). Daher scheint es vielversprechend, Lehrkräfte in die Lage zu versetzen, „Quanten-Projektwochen“ durchzuführen oder den Jugendlichen aus eigener Erfahrung berichten zu können. In beiden Fällen ist ein situierendes und kontextbezogenes Lernen, sei es durch Exkursionen in Unternehmen, an Hochschulen, an Schülerlaboren oder Ähnliches von Bedeutung. Solches Lernen, auch außerhalb der Schule, ermöglicht eine direkte Erfahrung und die Begegnung mit Expert:innen und beinhaltet oft in natürlicher Weise auch fächerübergreifende oder interdisziplinäre Sachverhalte (Pospiech et al., 2020).

Hierbei ist zu bedenken, dass in Deutschland Lehramtsstudierende zwar anders als in vielen anderen Ländern zwei Fächer studieren, oft aber nicht bewusst

einen Perspektivwechsel zwischen den Fächern vornehmen können, Gemeinsamkeiten oder Unterschiede nicht erkennen und damit interdisziplinäres Lernen nicht automatisch vorgegeben ist. In dem interdisziplinären Feld der Quanteninformatik besteht für die Studierenden die Gelegenheit, wissenschaftliches Arbeiten und Austausch zwischen unterschiedlichen Wissensgebieten direkt zu erfahren.

Ein anderer Punkt betrifft die wahrgenommene Relevanz der Studieninhalte, hier der Quantentheorie, für Lehramtsstudierende. Diese erscheinen ihnen oft zu weit weg von der Schulrealität, so dass sie ungenügend gelernt werden (Massolt & Borowski, 2020). Dies kann dazu führen, dass in den universitären Vorlesungen eventuell ein moderner Zugang zur Quantenphysik gelehrt wird, in der Schule aber später die traditionellen Inhalte vermittelt werden (Stadermann et al., 2019). Auch wenn noch relativ wenig über das Lernen und Lernschwierigkeiten in der Quanteninformatik bekannt ist, gibt es doch erste Hinweise, dass ein Zugang über Zwei-Zustandssysteme im Allgemeinen, sowie verbunden mit einer Nutzung der Dirac-Notation im Speziellen, auch für Schüler:innen gut gangbar ist (z.B. Albert & Pospiech, 2023; Michelini & Stefanel, 2008; Müller, 2019; Neumann, 2020).

Daher soll in einer spezifisch designten Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende die wahrgenommene Relevanz der Quantentheorie erhöht und die Kompetenz verbessert werden, Schüler:innen über aktuelle Entwicklungen der Quanteninformatik in für die Berufswahl relevanter Weise zu informieren. Gleichzeitig wird eine Modernisierung in dieser Weise auch den Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife (KMK, 2020) gerecht.

Um Lehrer:innen zu befähigen, authentische Einblicke in Berufsfelder zu geben, ist es zentral, dass sie selbst über solche Einblicke verfügen. Lehrkräften fehlen jedoch in der Regel solche Einblicke in Unternehmen oder Forschungsinstitutionen.

Deshalb wurde in der Vergangenheit an der TU Dresden im Rahmen des Projekts „Lehrer studiert Unternehmen“ (Lein & Pospiech, 2013; Unverricht et al., 2012) in Kooperation von Chemie- und Physikdidaktik ein – nicht themengebundenes – didaktisches Betriebspraktikum in die Lehrkräftebildung integriert, in welchem Studierende zwei Wochen lang in ein Unternehmen oder eine Forschungsinstitution gehen und auf der Basis ihrer Erfahrungen ein Unterrichtskonzept entwickeln.

Dieses wurde positiv evaluiert (Lein, 2014). Daher scheint es naheliegend, diese Form des Industriepraktikums auf die besonderen Anforderungen der Quanteninformatik anzupassen.

## 3. Das Projekt QUILT

Für den Einsatz im Bereich der Quanteninformatik wird das bestehende Konzept „Lehrer studiert Unternehmen“ adaptiert.

Das Projekt „QUILT – Quanteninformatik in der Lehrerbildung mit Transfer in den berufsorientierenden Unterricht“ zielt, ausgehend von den bisherigen Überlegungen, in einer langfristigen Perspektive auf die Gewinnung zusätzlicher Fachkräfte durch einen berufsorientierenden Ansatz bereits in der Schule ab. Hierbei sollen Lehrkräfte befähigt werden, den Jugendlichen einen authentischen Einblick in die Berufswelt der Quanteninformatik zu geben und zugleich die zugehörige Faszination überzeugend vermitteln zu können.

Dieses Problem wird dadurch angegangen, dass unter aktiver Beteiligung industrieller Partner Berufsbilder entwickelt und relevante Kompetenzen identifiziert werden, die für künftige Fachkräfte wichtig sind, aber auch grundsätzlich ein Verständnis der Quanteninformatik ermöglichen. Diese fließen in universitäre Lehrveranstaltungen ein, indem die (künftigen) Lehrkräfte die Grundlagen der Quanteninformatik in einem allgemeinbildenden Sinne erlernen, einen konkreten Einblick in die Berufswelt erhalten und die Kompetenzen erwerben, ihren eigenen Unterricht berufsorientierend zu gestalten. Auf diese Weise soll der Unterricht dazu beitragen, dass die Schüler:innen zum einen berufliche Perspektiven erfahren und zum anderen ein Verständnis für das Zusammenspiel von Wissenschaft, Technik und Wirtschaft entwickeln.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Elemente als Kern der universitären Lehrveranstaltung:

Theorie:	Vermittlung fachlicher und fachdidaktischer Inhalte zur Quanteninformatik in einem Seminar
Industrie-einblicke:	Ermöglichung konkreter Einblicke in Berufsfelder durch ein didaktisch angeleitetes Industriepraktikum
Schulpraxis:	Vermittlung der Kompetenz, Unterricht berufsbezogen zu konzipieren sowie durchzuführen (Erstellung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes)

### 3.1. Projektablauf

In Abbildung 1 ist der Ablauf des Projektes QUILT dargestellt, welcher im Sinne eines Design-Based-Research-Ansatzes geplant wurde.

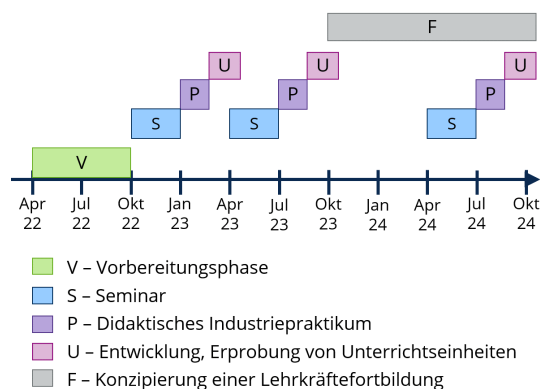


Abb. 1: Projektablauf.

Nach einer Vorbereitungsphase wurde eine Pilotlehrveranstaltung mit Seminar, Praktikum und unterrichtlicher Umsetzung durchgeführt. Die Erkenntnisse aus dieser Durchführung flossen in die weitere Gestaltung und Optimierung, sowohl inhaltlicher als auch organisatorischer Art, ein. Insgesamt wird die Lehrveranstaltung dreimal durchgeführt.

Die gewonnenen Erkenntnisse und Unterrichtskonzepte dienen der Weiterentwicklung des Seminars mit Einbezug der Netzwerkpartner, der Optimierung der Organisationsabläufe im Hinblick auf Effizienzsteigerung und last but not least, der Entwicklung einer Lehrkräftefortbildung.

### 3.2. Beschreibung der Lehrveranstaltung

Die Realisierung der Lehrveranstaltung erfolgte im Rahmen des Wahlbereiches des Lehramtsstudiums an der TU Dresden.

#### 3.2.1. Theorieteil: Universitäres Seminar

Der Theorieteil umfasst ein einstündiges Seminar (entspricht 1 SWS; 8 Termine mit je 90 Minuten) mit fachlichen, didaktischen und industriebezogenen Anteilen.

Im Seminar liegt der Schwerpunkt auf der Quanteninformation als dem Bereich, in den man relativ gut mit geringen Mitteln grundlegende Technologien behandeln kann. Beispielsweise werden die Quantenkryptographie mit Fokus auf das BB84 Protokoll und Grundlagen zum Quantencomputer, wie der Deutsch-Algorithmus, behandelt. Als Vorkenntnis wird die Vorlesung Quantentheorie vorausgesetzt, so dass inhaltlich relativ zügig vorgegangen werden kann. Es wird große Rücksicht darauf genommen, dass die Inhalte auch in den schulischen Physikunterricht übertragen werden können. Didaktische Gesichtspunkte werden jederzeit einbezogen.

Neben den fachlichen Inhalten werden fachdidaktische Grundlagen der Unterrichtsgestaltung und -planung behandelt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem kontext- und problemorientierten Unterricht. Auch wenn dies den Studierenden nicht völlig neu ist, stellt die Verbindung der entsprechenden Kenntnisse mit einem berufsorientierenden Ansatz eine Herausforderung dar. Ferner lernen die Studierenden durch kurze Gastvorträge mehrere Unternehmen kennen und entscheiden sich zwischen mehreren Unternehmen für ihr Industriepraktikum.

#### 3.2.2. Praxisphase: Didaktisches Industriepraktikum

Die Praxisphase besteht aus dem einwöchigen „didaktischen Industriepraktikum“ mit Auswertung und Reflexion der Erfahrungen.

Die Studierenden gehen in Tandems für ein bis zwei Wochen in ein Unternehmen der Quantentechnologien und analysieren die beruflichen Anforderungen und Tätigkeiten der Mitarbeitenden. Grundlage dafür ist die Didaktische Arbeitsanalyse, für die die Studierenden einen detaillierten Leitfaden an die Hand bekommen (vgl. Lein, 2014).

In der Regel werden mit Hilfe von Arbeitsanalysen systematisch Informationen über die Tätigkeit von Mitarbeitenden eines Unternehmens, die Arbeitsbedingungen und deren Wirkungen auf den Arbeitsprozess erfasst und beurteilt.

Ziel einer didaktischen Arbeitsanalyse ist es:

- typische (akademische) Arbeitsaufgaben zu identifizieren und zu strukturieren,
- den natur- bzw. ingenieurwissenschaftlichen Arbeits- bzw. Forschungsprozesses abzubilden (berufswissenschaftliche Arbeitsanalyse),
- exemplarische Beispiele von Arbeitsaufgaben zu identifizieren (in Korrespondenz zu den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schule), die von Lernenden bewältigbar sind.

Somit liegt der Fokus auf didaktischen Aspekten, die für die Realisierung im Unterricht relevant sind. Damit die Studierenden dies zielgerichtet durchführen können, wird die didaktische Arbeitsanalyse durch die Projektmitarbeiter:innen angeleitet und vorbereitet.

Es ist Aufgabe der Mitarbeitenden, die Einordnung des Unternehmens oder Forschungsinstituts in übergeordnete gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Systeme vorzunehmen, Forschungs- oder Arbeitsschwerpunkte zu identifizieren, eine zum Ziel des Projekts passende Abteilung auszuwählen sowie das zu analysierende Forschungsprojekt einzugrenzen.

Auf dieser Grundlage sollen die Studierenden die Tätigkeitsfelder der begleiteten Ingenieur:innen und Naturwissenschaftler:innen ermitteln und typische Arbeitstätigkeiten zur Realisierung eines Arbeits- oder Forschungsauftrages innerhalb einer Abteilung analysieren. Dabei werden verschiedene Befragungs- und Beobachtungsmethoden eingesetzt. Während die Studierenden die Mitarbeitenden begleiten, lassen sie sich die Tätigkeiten erläutern (Beobachtungsinterview), sie nehmen Daten anhand eines Leitfadens auf und arbeiten nach Möglichkeit selbstständig an einzelnen Aufgaben mit.

Dabei geht es in erster Linie um systematische Beobachtung, Befragung der Mitarbeitenden sowie eine Analyse ihrer Tätigkeiten im Hinblick auf den quantenphysikalischen oder quantentechnologischen Gehalt und das mögliche Potential für den Unterricht. Vor allem sollen bildungsrelevante Arbeitsinhalte für den Unterricht identifiziert werden.

### 3.2.3. Transferphase: Erstellung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen in die Schulpraxis umgesetzt werden. Dies erfordert eine Analyse im Hinblick auf mögliche Unterrichtsziele und einen Entscheidungsprozess: Welche Inhalte und Tätigkeiten geben ein interessantes und realistisches Bild des Berufsfeldes und können in einer begrenzten Zeit im Unterricht umgesetzt werden?

Aus den gesammelten Daten und Informationen werden daher bildungsrelevante Arbeitsinhalte (technische Verfahren, Geräte, Analysemethoden, Materialien, Anwendungen, Arbeitsweisen, Projekte, usw.) in Korrespondenz zu den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schule identifiziert und strukturiert, welche geeignet sind, den Lernenden ein Abbild von realen Tätigkeiten von Akademiker:innen in der Arbeitswelt zu geben.

Die leitenden Fragen sind:

- Welche Bezugspunkte können für die zukünftige Arbeit als Lehrperson identifiziert werden?
- Welches konkrete Lernpotenzial steckt in den typischen Arbeitsaufgaben von Akademiker:innen?
- Welche Mittel, Methoden und Arbeitsweisen lassen sich in den Unterricht transferieren?

Um den Studierenden eine Brücke zu bauen und die Verarbeitung der Eindrücke zu erleichtern, werden sie aufgefordert, in einem ersten Schritt ihre Erfahrungen für ein allgemeines Publikum in einem Bericht, Blog, Zeitungsartikel oder Ähnlichem darzulegen und zu beschreiben, noch unabhängig von einer späteren Umsetzung im Unterricht.

Auf der Basis der Analyse und ihrer Einblicke entwickeln die Studierenden ein Unterrichtskonzept im Umfang von einer Doppelstunde und führen dieses auch in einer Schulklasse durch, gleichfalls im Tandem. In dieser Phase der Unterrichtskonzeption werden sie intensiv betreut. Die Lehramtsstudierenden werden beim Unterrichtsversuch hospitiert. Aus dem Ablauf der Unterrichtsversuche werden Schlussfolgerungen für die weitere Optimierung der Lehrveranstaltung gezogen.

## 4. Evaluation des Vorhabens

Die Durchführbarkeit und Effektivität dieses Vorgehens wird mit Fokus auf die Wahrnehmung der Lehrveranstaltung durch die Lehramtsstudierenden evaluiert. Dabei stehen die folgenden Forschungsfragen im Mittelpunkt:

- FF1: Wie wirkt sich Berufsorientierung im Bereich Quanteninformatik auf die Einstellungen und Kenntnisse von Lehramtsstudierenden aus?
- FF2: Wie relevant werden Inhalte der Quanteninformatik von Lehramtsstudierenden wahrgenommen und welche Lernschwierigkeiten gibt es?
- FF3: Inwieweit können berufsorientierende Unterrichtseinheiten zur Quanteninformatik im Unterricht umgesetzt werden?
- FF4: Inwiefern ist die angestrebte Kombination von Allgemeinbildung und Berufsorientierung hinreichend realisierbar?

### 4.1. Forschungsmethodik und Instrumente

Die Lehrveranstaltung wird gemäß eines Design-Based-Research-Ansatzes entwickelt und optimiert. Dazu wird sie insgesamt dreimal durchgeführt. Im

Folgendes wird über die ersten beiden Erprobungen und daraus gewonnenen Erkenntnissen berichtet.

Für die Evaluation dieser Lehrveranstaltung werden spezifische Erhebungsinstrumente entwickelt, die es erlauben, die Entwicklung von Einstellungen der Lehramtsstudierenden sowie ihr fachliches Lernen in der Quanteninformatik zu erfassen.

Aufgrund der geringen Zahl an teilnehmenden Studierenden werden qualitative Methoden eingesetzt. Auch die Evaluierung orientiert sich an der Dreiteilung des Lehrveranstaltungskonzeptes (siehe Abbildung 2). Dazu werden mit den Studierenden nach jedem Abschnitt der Lehrveranstaltung leitfadengestützte Interviews geführt.

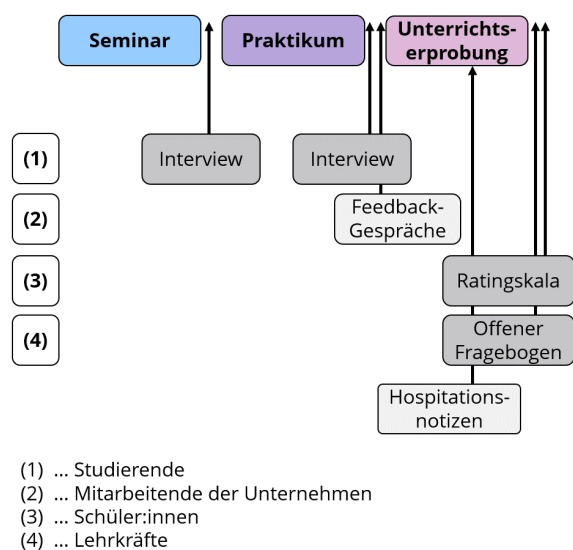


Abb. 2: Überblick über die Datenerhebungen.

Die Interviews bilden den Kern der Evaluation. Diese werden in der Regel mit zwei Studierenden zugleich geführt, jeweils in den Tandem-Gruppen, welche auch gemeinsam in ein Praktikum gehen und gemeinsam Unterricht planen und durchführen.

Die Interviews werden per Audioaufnahme aufgezeichnet. Die Daten werden transkribiert und dabei anonymisiert, wobei sich die Transkriptionsregeln an Kuckartz (2022) beziehungsweise Dresing und Pehl (2018) orientieren.

Die Datenauswertung erfolgt mittels deduktiv-induktiver qualitativer Inhaltsanalyse. Ausgehend von deduktiven Oberkategorien, welche auf den Interviewleitfäden und damit auf den Forschungsfragen basieren, werden induktive Subkategorien gebildet. Hierbei steht die Bildung inhaltlich strukturierender Kategorien (vgl. Kuckartz, 2022) im Vordergrund.

Neben den Studierenden sollen auch die Mitarbeitenden der Praktikumsunternehmen, sowie die Schüler:innen und Lehrkräfte der Klassen, in welchen die Unterrichtseinheiten erprobt werden, einbezogen werden.

Mit den Mitarbeitenden der Unternehmen werden nach jedem Praktikum Feedbackgespräche geführt, um die Praktika auch aus Sicht der Unternehmen

bewerten zu können und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen.

Um die Wirkung der Unterrichtsstunden auf die Schüler:innen sowie deren Einstellungen gegenüber der behandelten Themen in kleinem Rahmen zu erfassen, soll der Unterricht mittels einer Ratingskala durch diese eingeschätzt werden. Darüber hinaus wird jede erprobte Unterrichtseinheit mit Hilfe eines offenen Fragebogens durch hospitierende Fachlehrkräfte beurteilt.

#### 4.2. Erste Ergebnisse der Interviews

Erste Ergebnisse der Interviews liegen auf Basis der zweimaligen Durchführung der Lehrveranstaltung vor. Der erste Durchlauf erfolgte im Wintersemester 2022/2023, der zweite Durchlauf im Sommersemester 2023.

Insgesamt wurden  $N=10$  Studierende jeweils zweimal interviewt. Zum ersten Interviewzeitpunkt im Anschluss an das Seminar wurden hierbei  $N=5$  Interviews mit jeweils einem Paar von Studierenden geführt. Aus organisatorischen Gründen, konnten zwei Studierende ihr Praktikum nicht im Tandem absolvieren, weshalb zum zweiten Interviewzeitpunkt im Anschluss an das Praktikum  $N=6$  Interviews geführt wurden (je 4 Paare und 2 Einzelinterviews).

Da noch ein Durchlauf im Sommersemester 2024 aussteht und die Auswertung der Daten noch nicht abgeschlossen ist, können hier zunächst nur erste Beobachtungen beschrieben werden. Diese geben allerdings Hinweise für alle Teile der Lehrveranstaltung.

Für beide Interviews wurde ein gemeinsames Kategoriensystem entwickelt. Im Folgenden sollen erste, zentrale Ergebnisse vorgestellt werden.

##### 4.2.1. Vorkenntnisse und Vorwissen über Berufe der Quantentechnologien

Es wird deutlich, dass Studierende nicht nur zu Beginn der Lehrveranstaltung, sondern auch noch nach Ende des Seminars als erstem Teil wenige Vorstellungen darüber haben, was sie im Praktikum erwartet. Tatsächlich kommt dies in allen geführten Interviews zum Ausdruck. Damit einher geht auch, dass Studierende im Anschluss an das Seminar Schwierigkeiten haben, einschätzen zu können, inwiefern sie dieses gut auf das Praktikum vorbereitet.

*Ich finde es halt gerade, wie gesagt, ziemlich schwierig, aufs Praktikum vorbereitet zu sein, wenn man halt überhaupt noch nicht weiß, worum es im Praktikum geht. Also ich kann das, wie gesagt, ich kann ja noch null abschätzen, was die da überhaupt machen und ob das überhaupt mit dem zusammenhängt, was wir [im Seminar] gemacht haben. [...]*  
(22 Interview 1a, Pos. 97-100)

Wesentlich lassen sich hierbei zwei Aspekte in fast allen Interviews finden. Zum einen zeigen Studierende vor dem Praktikum wenige Vorstellungen darüber, wie und wozu Industrie und Forschung im Bereich der Quantentechnologien konkret arbeiten und

wie konkrete Arbeitsinhalte und Tätigkeiten aussehen. Zum anderen zeigen Studierende Angst und Bedenken dahingehend, auf das Praktikum fachlich gut vorbereitet zu sein.

*Ich kann auch ehrlich gesagt noch nicht so richtig einschätzen, was sie dann von uns quasi fachwissenstechnisch verlangen [...] (23 Interview1c, Pos. 28)*

Im Praktikum selbst zeigt sich, dass Inhalte zwar oftmals über fachliche Kenntnisse der Studierenden hinausgehen, benötigtes Sachwissen aber auf Grund der guten Betreuung und Einweisung durch die Mitarbeitenden der Unternehmen zielführend in vorhandene Kenntnisse eingeordnet und ergänzt werden können.

Das Praktikum wird von den Studierenden positiv eingeschätzt. Vor allem die inhaltlichen Einblicke werden als sehr umfangreich und eindrucksvoll beschrieben. Einblicke, welche als besonders relevant und interessant empfunden werden, sind neben fachlichen Aspekten beispielweise auch Einblicke in Arbeits- oder generelle Organisationsstrukturen der Unternehmen.

#### 4.2.2. Einstellungen gegenüber Inhalten der Quantentechnologien und Quanteninformatik

Festgehalten werden muss, dass die im Seminar vermittelten Fachinhalte zu Quantentechnologien im Allgemeinen und Quanteninformatik im Speziellen von den Studierenden sehr positiv bewertet und als spannend und interessant empfunden werden. Hier bestätigen sich über die inhaltlichen Potentiale hinaus die positiven Einflüsse, welche die Thematik auf Motivation und Interesse haben kann.

Hervorgehoben wird vor allem das Aufzeigen der Anwendungen von Quantenphysik, welcher der Ansatz mit sich bringt. Die Studierenden heben positiv hervor, dass an vielen Stellen aus dem Studium bereits bekannte Inhalte, etwa aus der Quantentheorie oder der Atom- und Festkörperphysik, wieder aufgegriffen und um konkrete Anwendungsbezüge erweitert werden.

*Ich fand es ganz gut, dass das so auf Anwendung in der Quantenphysik voll bezogen war, weil das, was mir in der Vorlesung gehört hat, sowohl in der Experimentalphysik als auch in der Quantentheorievorlesung, das war halt immer nur so mit Theorien rumgeballert. Und ich habe nie so richtig verstanden, für was braucht man das jetzt und was bringt das jetzt so in der Technik. [...] Und das fand ich gut und dann ist mir so ein bisschen klar geworden, für was man das eigentlich braucht. (23 Interview1a, Pos. 5)*

Im Speziellen werden Inhalte zur Anwendung der Verschränkung etwa bei Quantenalgorithmien und insbesondere die Quantenschlüsselerzeugung als spannend, interessant und gut verständlich empfunden. Diese Aussagen spiegeln das Potential wider, welches Quantentechnologien im Physik-

Fachstudium des Lehramts auch unabhängig von der Umsetzung im Unterricht haben können.

#### 4.2.3. Umsetzung berufsorientierenden Unterrichts zu Quantentechnologien

Im Rahmen der beiden Lehrveranstaltungsdurchführungen wurden sieben Unterrichtskonzeptionen für jeweils eine Doppelstunde konzipiert und im Physikunterricht der Sekundarstufe II erprobt.

Es zeigt sich hierbei, dass die Ideenfindung der berufsorientierenden Stunden auf Basis des Praktikums durch die Studierenden als schwierig eingeschätzt wird und Probleme bereitet. In vielen Fällen wurden bereits während der Praktikumsdurchführung Konsultationen durchgeführt, um die Studierenden bei ihrer Ideenfindung zu unterstützen. Der Transfer von Praktikum zum konkreten Unterricht scheint hierbei eine große Hürde darzustellen.

*Also, es ist schon recht schwergefallen. Genau, weil es geht eben bei denen viel um Algorithmen-Entwicklung und das kann man ja direkt komplett vergessen für die Schule. Und [...] dann ging es uns halt darum, was jetzt die Arbeitsweisen sind, wie beschäftigen die sich mit dem Thema und so weiter und so fort. [...] Das macht es halt auch alles nicht leichter, dann irgendwie ein passendes Stundenthema zu finden. (23 Interview2b, Pos. 39-41)*

Des Weiteren wird die didaktische Reduktion der Fachinhalte als schwer angesehen. Das ist insofern nicht überraschend, als dass die Praktikumsunternehmen mitunter hochspezialisierte Tätigkeiten in speziellen Teilgebieten der Quantentechnologien aufweisen. Erschwert wird dies auch dadurch, dass es bisher nur wenige vorhandene, schulgeeignete Materialien zur Quanteninformatik, wie beispielsweise didaktisch gut aufbereitete Lehrtexte gibt. Dementsprechend sind die Studierenden gezwungen, viele Materialien selbst zu erstellen.

#### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend zeigt die Evaluation der bisherigen Durchläufe, dass das Praktikum als sehr ergiebig und sinnstiftend von den Studierenden eingeschätzt wird. Insbesondere werden sowohl die Möglichkeit, ein Industrie- beziehungsweise Forschungsunternehmen zu besuchen im Allgemeinen, als auch Inhalte zu Quantentechnologien und Quanteninformatik im Speziellen, als interessant und motivierend bewertet.

Es zeigt sich, dass durchaus hohe Anforderungen an Studierende gestellt werden. Nicht nur müssen sie das Praktikum absolvieren, die fachlichen Inhalte verstehen und in Form der Didaktischen Arbeitsanalyse verarbeiten, sondern auf Basis dessen berufsorientierenden Unterricht konzipieren. Es zeigt sich aber, dass Studierende diesen Aufgaben durchaus gewachsen sind. Allerdings setzt das Gelingen der Lehrveranstaltung eine enge und umfangreiche universitäre Betreuung in Form von Konsultationen vor, während und nach dem Praktikum voraus, um geeignete

Unterrichtskonzepte zu entwickeln. Im letzten Durchlauf wird besonders durch Beispiele ein noch größerer Wert darauf gelegt, den Studierenden die Kompetenz zu vermitteln, berufsbezogenen Unterricht zu konzipieren.

Seminar und Praktikum laufen nach Rückmeldung der Studierenden bereits überwiegend sehr gut. Vor allem organisatorisch können an der einen oder anderen Stelle noch kleine Optimierungen vorgenommen werden, allerdings hat sich das Design grundsätzlich bewährt und wird nicht mehr geändert werden. Im Sommersemester 2024 erfolgt der letzte Durchlauf der Lehrveranstaltung.

Das Projekt QUILT setzt sich in besonderer Weise mit dem erwartbaren Fachkräftemangel im Bereich der Quantentechnologien auseinander. Dies geschieht, indem Lehramtsstudierende die Fähigkeiten vermittelt bekommen sollen, berufsorientierenden Unterricht in diesem Bereich zu planen und durchzuführen. Um dieses perspektivische Ziel in breiterem Umfang zu erreichen, sollen die Ergebnisse des Projekts in die Lehrkräftefortbildung einfließen, so dass weitere Lehrpersonen erreicht werden können. Dazu wird eine Lehrkräftefortbildung konzipiert, in welcher neben fachlichen und didaktischen Inhalten zu Quantentechnologien und Quanteninformatik, außerdem berufsorientierende Aspekte vermittelt werden sollen. Kern bilden dabei auch die durch die Studierenden entwickelten Unterrichtskonzeptionen, welche nach einer Überarbeitung durch die Projektmitarbeitenden an Lehrkräfte herausgegeben werden können.

## 6. Literatur

- Albert, C. & Pospiech, G. (2023). Quantenphysik in Klasse 9: Ergebnisse einer Akzeptanzbefragung für ein Spin-First-Unterrichtskonzept. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1370>
- Anger, C., Betz, J. & Plünnecke, A. (2024). MINT-Frühjahrsreport 2024. Herausforderungen der Transformation meistern, MINT-Bildung stärken, Gutachten für BDA, Gesamtmetall und MINT Zukunft schaffen, Köln.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (2016). Physik in der Schule. Bad Honnef.
- Dresing, T. & Pehl, T. (2018). Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende (8. Auflage).
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.) (2015). Physikdidaktik. Theorie und Praxis. (3. Auflage) Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- KMK (2020). Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020.
- Krimphove, P. (2022, 03. Mai). Quantentechnologien: Fachkräfte dringend gesucht. Merton-OnlineMagazin des Stifterverbandes. <https://merton-magazin.de/quantentechnologie-fachkraefte-dringend-gesucht>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden (5. Auflage). Grundlagentexte Methoden. Beltz Juventa.
- Lein, S. (2014). Das Betriebspraktikum in der Lehrerbildung. Eine Untersuchung zur Förderung der Wissenschafts- und Technikbildung im allgemeinbildenden Unterricht. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH (Studien zum Physik- und Chemielernen, 165).
- Lein, S. & Pospiech, G. (2013). Akademische Arbeitsinhalte im Unterricht – eine lösbare Aufgabe für Lehramtsstudierende der Physik und Chemie?. *Inquiry-based Learning–Forschendes Lernen*, 155.
- Massolt, J. & Borowski, A. (2020). Perceived relevance of university physics problems by pre-service physics teachers: Personal constructs. *International Journal of Science Education*, 42(2), 167–189.
- Michellini, M. & Stefanel, A. (2008). Learning paths of high school students in quantum mechanics. *Frontiers of Physics Education*, 337–343.
- Mujtaba, T. & Reiss, M. J. (2016). “I Fall Asleep in Class... But Physics Is Fascinating”: The Use of Large-Scale Longitudinal Data to Explore the Educational Experiences of Aspiring Girls in Mathematics and Physics. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 16(4), 313–330.
- Müller, C. (2019). Planung einer Unterrichtseinheit zur Quantenkryptografie und Akzeptanzanalyse der Dirac-Notation [Wissenschaftliche Abschlussarbeit]. TU Dresden.
- Neumann, C. (2020). Einstieg in die Quantenphysik über die Quantenkryptografie – Erarbeitung und Erprobung einer Unterrichtseinheit [Wissenschaftliche Abschlussarbeit]. TU Dresden.
- OECD (2019). Bildung auf einen Blick 2019: OECD-Indikatoren. wbv Media. Bielefeld.
- Pospiech, G. (2021). Die zweite Quantenrevolution: Quanteninformatik im Physikunterricht. In J. Grebe-Ellis & H. Grötzebauch (Vorsitz), *Virtuelle DPG-Frühjahrstagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von DPG.
- Pospiech, G. (2024). Teaching Quantum Physics Between Quantum Technology and General Education. In E. Aydiner, B. G. Sidharth, M. Michellini, & C. Corda (Hrsg.), *Frontiers of Fundamental Physics FFP16* (S. 393–416). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-38477-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-38477-6_22)
- Pospiech, G., Niethammer, M., Wieser, D. & Kuhlmann, F.-M. (Hrsg.). (2020). *Begegnungen mit der Wirklichkeit: Chancen für fächerübergreifendes Lernen an außerschulischen Lernorten*. hep-Verlag.

- Risius, P., Malin, L. & Flake, R. (2017). *Ausbildung oder Studium? Wie Unternehmen Abiturienten bei der Berufsorientierung unterstützen können* (No. 3/2017). KOFA-Studie.
- 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. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1).  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.15.010130>
- Stifterverband (2023). Quantum Skills in der Lehrkräftebildung. DISCUSSION PAPER °8. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V.  
<https://www.stifterverband.org/quantum-skills-in-der-lehrkraeftebildung-empfehlungen>
- Unverricht, I., Lein, S., Niethammer, M. & Pospiech, G. (2012). Das Projekt „Lehrer studiert Unternehmen“ - Ein modernes Betriebspraktikum in der Lehramtsausbildung. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht*. (S. 491–493).

### **Danksagung**

Wir danken dem BMBF für die Förderung des Projekts.