

Franziska Gerke<sup>1</sup>  
Rainer Müller<sup>1</sup>  
Philipp Bitzenbauer<sup>2</sup>  
Malte Ubben<sup>3</sup>  
Kim-Alessandro Weber<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TU Braunschweig

<sup>2</sup>FAU Erlangen

<sup>3</sup>WWU Münster

<sup>2</sup>LU Hannover

## “Requirements for future Quantum Workforce”-Delphi-Studie: Ergebnisse der Pilotrunde

Die steigende Relevanz von Quantentechnologien in Deutschland (s. z. B. Acatech IMPULS<sup>1</sup>; Konjunkturpaket der Bundesregierung<sup>2</sup>) und Europa (s. z. B. Quantum Flagship<sup>3</sup>) stellt die (universitäre) Ausbildung von Fachkräften in diesem Bereich vor neue Herausforderungen – nicht nur in der Physik, sondern auch in den Ingenieurwissenschaften. Ein Ziel des europäischen Flagship-Projektes QTedu<sup>4</sup> ist die Entwicklung eines europäischen Kompetenzrahmens für die Quantentechnologien der zweiten Generation.

Als Grundlage dafür dient die hier vorgestellte Delphi-Studie: Es werden Kenntnisse und Kompetenzen im Bereich der Quanteninformationstechnologien identifiziert, die teilweise schon jetzt, vor allem aber in Zukunft, in der Industrie benötigt werden. Diese werden strukturiert, um schließlich messbare Kompetenzstufen abzuleiten. So soll ein **Kompetenzrahmen** entstehen, der die Anforderungen an Fachkräfte im Bereich der Quantentechnologien widerspiegelt. In diesem Beitrag werden ausgewählte Ergebnisse der Pilotrunde vorgestellt, die die Basis für die Befragung der ersten Hauptrunde bilden.

**Die Delphi-Methode** zeichnet sich durch einen iterativen Befragungsprozess aus: Auf den Ergebnissen der vorherigen Befragung basieren die nachfolgenden Fragestellungen (Häder, 2009). Sie wurde ausgewählt, um in diesem neuen Feld moderner Quantentechnologien ein breites Spektrum an Expertenmeinungen und -einschätzungen einzubeziehen. In den aufeinander aufbauenden Befragungsrunden wird durch den Übergang von primär offenen Fragen in den ersten Runden hin zu Ratingfragen in der letzten Runde sukzessive auf eine Konsensfindung hingewirkt, um schließlich ein Kompetenzstrukturmodell abzuleiten. An der **Pilotrunde**, die um den März 2020 stattfand, nahmen 28 Personen aus mindestens 10 Ländern teil. Die Teilnehmenden wurden über Netzwerke der Community geworben und gaben vorwiegend an, im Bereich der Wissenschaft tätig zu sein und über langjährige Erfahrung zu verfügen. So wurde die eigene Kompetenz in diesem Fachbereich überwiegend als hoch oder sehr hoch eingestuft.

---

<sup>1</sup> Acatech IMPULS (2020). Innovationspotenziale der Quantentechnologien der zweiten Generation. URL: [www.acatech.de/publikation/innovationspotenziale-der-quantentechnologien/](http://www.acatech.de/publikation/innovationspotenziale-der-quantentechnologien/).

<sup>2</sup> Konjunkturprogramm: Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken. Ergebnis Koalitionsausschuss 3. Juni 2020. URL: [www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/2020-06-03-eckpunktepapier.pdf](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/2020-06-03-eckpunktepapier.pdf).

<sup>3</sup> Quantum Flagship: The future is Quantum. Initiative of the European Commission. URL: [qt.eu](http://qt.eu).

<sup>4</sup> QTedu: Coordination and Support Action for Quantum Technology Education. Projekt of the Quantum Flagship Initiative. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/951787>.  
Jeweils abgerufen am 24.09.2020.



**Zur Auswertung** wurde bei geschlossenen Fragen eine deskriptivstatistische Analyse durchgeführt, die Ergebnisse wurden bereits in PhyDid B veröffentlicht (Gerke et al., 2020). Hinzu kommen die Resultate einer qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2015), ausgewählte Zitate werden durch Anführungszeichen und Angabe der ID, also „...“ (ID), gekennzeichnet.

### **Ausgewählte Ergebnisse und Folgerungen für die nächste Befragungsrunde**

**Quantum Technologies:** In der Pilotrunde wurde zunächst zur Begriffsschärfung nach dem eigenen Verständnis der Teilnehmenden von Quantentechnologien der zweiten Generation gefragt. Mittels qualitativer Inhaltsanalyse ergaben sich die folgenden drei zentralen Aspekte, jeweils mit einem exemplarischen Zitat:

- New technologies: „use quantum mechanics to engineer new systems, devices“ (32)
- Use of single quantum objects: „[...] The challenge for this new generation of quantum systems is to achieve a suitable level of control, similar to what has been already demonstrated for individual isolated quantum systems.“ (40)
- Phenomena such as entanglement: „Quantumness as the essential novelty of the result or application: linear superposition of quantum states, entanglement, and any other unique quantum property.“ (51)

Diese drei Aspekte werden in der darauf aufbauenden, ersten Hauptrunde den Teilnehmenden vorgelegt, die dazu Stellung nehmen und ggf. wichtige Aspekte ergänzen sollen.

Mit sechsstufigen Ratingskalen wurden Einschätzungen/Prognosen erhoben. Dabei wurden von den großen Technologiebereichen Quantensensoren und Metrologie als besonders relevant eingeschätzt, dicht gefolgt von Quantenkommunikation. Details zu dieser und anderen Ratingfragen sind in (Gerke et al., 2020) zu finden. Auf die Frage, welcher Technologie das größte Potential zugeschrieben wird, wurden Quantencomputer allerdings ähnlich häufig genannt. Für die nächste Befragungsrunde wurde diese Ratingfrage modifiziert, die Technologiebereiche sind nun kurzfristig (5 bis 10 Jahre) und langfristig zu bewerten. Damit sollen Verschiebungen genauer ermittelt werden. Außerdem werden die Teilnehmenden aufgefordert, für die Bereiche, die sie als sehr wichtig einstufen, eine Begründung der Einschätzung abzugeben.

**Für die künftigen Quantum Workforce** Beschäftigten im Bereich der Quantentechnologien wurden zahlreiche notwendige oder wünschenswerte Kompetenzen oder Ausbildungsinhalte genannt, von denen in Abb. 1 eine Auswahl, geordnet in vier Bereiche, dargestellt ist. Die vier Bereiche ergeben sich aus der qualitativen Inhaltsanalyse. Im ersten Bereich werden Aussagen zu grundlegenden Phänomenen oder Prinzipien gebündelt. Beispiele sind Verschränkung und Superposition, aber auch der Tunneleffekt oder das No-Cloning-Theorem. Neben diesen Inhalten (in Abb. 1 fett gedruckt) finden sich schon erste Aspekte von Kompetenzen (in Abb. 1 unterstrichen), ein (grundlegendes) Verständnis der Konzepte wird gefordert. Ähnlich werden im Bereich Mathematik „foundations and principles [...]“ (37), zum Physik-Hintergrund die „Perception of the conceptual difference between classical and quantum physics“ (34) oder im Anwendungs-Bereich die „Basic ideas on how QT works“ (16) genannt.

Für die Entwicklung eines Competence Frameworks werden allerdings konkrete Kompetenzen benötigt. Daher wird Abb. 1 in der nächsten Runde zur Inspiration bereitgestellt. Auf dieser Basis sollen dann mit vorgegebener Struktur konkrete Anforderungen formuliert werden: Die Teilnehmenden wählen ein Feld der Quantentechnologien, in dem sie sich

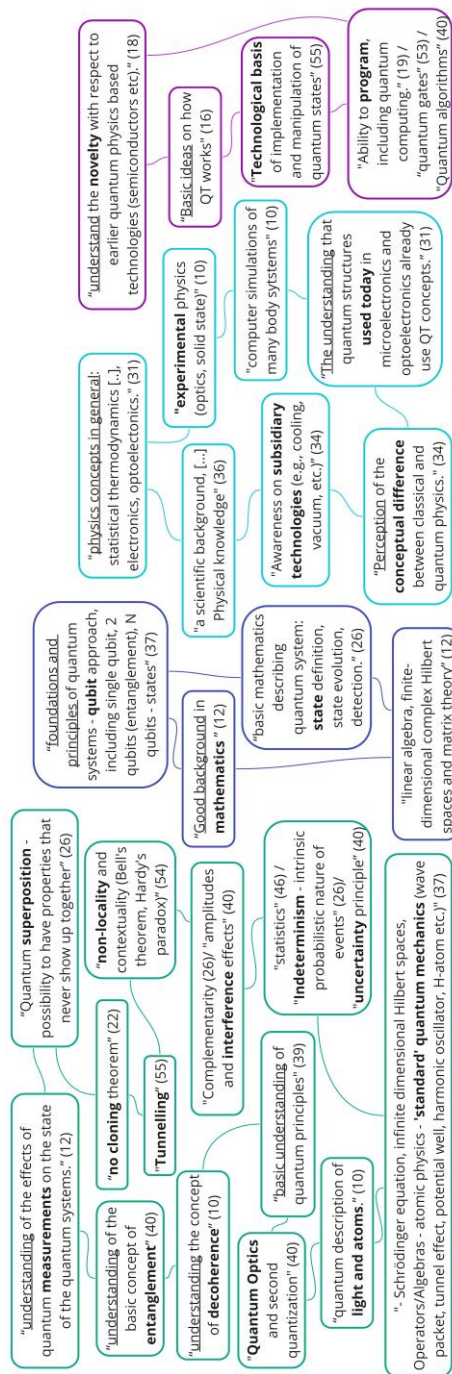


Abb. 1: Überblick über genannte Inhalte und Kompetenzen, geordnet nach den vier Bereichen Phänomene/Grundkonzepte, Mathematik, Physik-Hintergrund und Anwendung.

besonders bewandert fühlen, und nennen für dieses Feld von zukünftigen Fachkräften zu erwerbende Kompetenzen.

Zusätzlich ist zu jeder Kompetenz anzugeben, wofür diese konkret benötigt und welches Expertiselevel erwartet wird. Dabei ist zwischen den Stufen Anwendung und Entwicklung zu differenzieren. Die dreistufige Fragegestaltung basiert auf der Delphi-Studie „Physikalische Bildung“ (Häußler et al., 1980).

Als Oberbegriff für ein grundlegendes, phänomenorientiertes Verständnis wurde vom Quantum Flagship der Begriff **Quantum Awareness** eingeführt. Dieser wurde in der Pilotstudie jedoch kritisiert, da er mit Esoterik assoziiert werden kann. In der nächsten Runde wird daher auch evaluiert, ob ein anderer Begriff gewählt werden sollte, alternative Benennungen werden gesammelt.

Dass Quantum Awareness jedoch ein wichtiges Thema der künftigen Fachkräfteausbildung sein wird, zeigt sich in der Zustimmung von über 80 % der Teilnehmenden zu der Aussage, dass es in 5 bis 10 Jahren Bereiche der Industrie geben werde, in denen Quantum Awareness von zentraler Relevanz sein wird.

**Die Prognosen aus der Pilotrunde** unterstreichen die Relevanz dieses Themas für die künftige Ausbildung von Quantenfachkräften. Welche konkreten Kompetenzen für diese aber zentral sind, muss in den nächsten Befragungsrunden noch ermittelt werden.

### **Literatur**

- Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M., & Weber, K.-A. (2020). Quantum Awareness im Ingenieurwesen: Welche Kompetenzen werden in der Industrie von morgen gebraucht? Erste Ergebnisse einer Delphi-Studie. *PhyDidB – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Bonn 2020*, S. 437-443.
- Häder, M. (2009). *Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Häußler, P., Frey, K., Hoffmann, L., Rost, J. & Spada, H. (1980). *Physikalische Bildung: Eine curriculare Delphi-Studie Teil II*. IPN-Arbeitsberichte Nr. 42
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Beltz Verlagsgruppe, 69 469 Weinheim. ISBN: 9783407293930.
- Robbins, N. & Heiberger, R. (2011). Plotting Likert and other rating scales. In: *Proceedings of the 2011 Joint Statistical Meeting*, 1058-1066.