

Ermittlung von Anforderungen an künftige Quanten-Fachkräfte

- Zwischenbericht aus der Delphi-Studie -

Franziska Gerke (VH Greinert)¹, Rainer Müller¹, Philipp Bitzenbauer², Malte S. Ubben³,
Kim-Alessandro Weber⁴

¹TU Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, ²FAU Erlangen, Physikalisches Institut,
³WWU Münster, Institut für Didaktik der Physik, ⁴LU Hannover, Institut für Quantenoptik
f.greinert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Mit den *neuen* Quantentechnologien, den QT 2.0, ergeben sich spezielle Anforderungen an die Fachkräfte, die mit diesen arbeiten werden. Ziel der vorgestellten Delphi-Studie ist die Ermittlung von Kompetenzen für und Anforderungen an die künftigen Quanten-Fachkräfte. Damit bilden die Ergebnisse dieser Delphi-Studie die Basis für die Entwicklung eines Competence Frameworks im europäischen Quantum Flagship Projekt QTedu CSA. Darüber hinaus liefert die Delphi-Studie Einschätzungen zu Begriffs- bzw. Definitionsschärfung sowie Prognosen zur künftigen Relevanz der einzelnen Säulen der QT 2.0, also Quantencomputing, Quantensimulation, Quantensensorik/Metrologie und Quantenkommunikation, sowie auch den Enabling Technologies.

Vorgestellt werden in diesem Beitrag vorwiegend die aktuellen Zwischenergebnisse der ersten Hauptrunde, die auf denen einer Pilotrunde aufbauen, und die in einer abschließenden Befragungsrunde bewertet und ergänzt werden sollen.

1. Einleitung und Ziel

Die Anwendungen der Quantenphysik unterliegen einem Wandel, sie erlangen aus der Grundlagenforschung heraus zunehmend Marktreife und gewinnen damit sowohl national¹ als auch international² an Relevanz, eine intensive Vernetzung von Natur- und Ingenieurwissenschaften erfolgt³. In diesem Prozess ist die Einigung auf einen Kompetenzrahmen für die Ausbildung von Fachkräften in der Quantentechnologie, welcher gleichermaßen die Anforderungen von Industrie und Wissenschaft abbildet, von besonderer Bedeutung. Das Flagship-Projekt QTedu CSA⁴ hat die Entwicklung eines solchen Kompetenzrahmens für Europa zum Ziel.

Die hier vorgestellte Delphi-Studie schafft eine empirische Basis zur Unterstützung der Entwicklung dieses Kompetenzrahmens. Im Rahmen einer Delphi-Studie werden iterativ in aufeinander aufbauenden Befragungsrunden Expertenmeinungen aus Industrie und Wissenschaft erhoben, von den Experten präzisiert und bewertet. Im Fokus stehen dabei die Sammlung und Ordnung von Kompetenzen im Kontext von Quantentechnologien.

Vorherige Ergebnisse wurden bereits vorgestellt, von ersten Ergebnissen nach der qualitativ angelegten Pi-

lotrunde [1] über die Folgerungen für die erste Hauptrunde [2] bis hin zu wenigen ersten Ergebnissen der ersten Hauptrunde [3]. In diesem Beitrag wird über den Zwischenstand nach der Pilotrunde und der ersten von zwei Hauptrunden berichtet mit Fokus auf den iterativen Fragenentwicklungen über die Runden und Ausblick auf die Ergebnisse der zweiten Hauptrunde

2. Methodik

2.1. Delphi-Methode

Welche Kompetenzen werden die Fachkräfte im Bereich der Quantentechnologien künftig benötigen? Die Klärung dieser Frage erfordert das Einholen der Meinungen und Einschätzungen einer möglichst großen und breit gestreuten Expertengruppe aus denen ein Konsens abgeleitet werden kann. Ein solcher Konsens erscheint notwendig, um entsprechende Ausbildungsangebote aber auch Zertifizierungen und Standards zu etablieren. Dies scheint im Bereich der Quantentechnologien besonders wichtig, weil das Fachgebiet noch sehr jung ist und bisher keine breiten Erfahrungen zu Vermittlungsaspekten vorliegen.

Für dieses Forschungsanliegen bietet sich methodisch eine Delphi-Studie an (vgl. z. B. [4, S. 33]; [5]), bei der aus zunächst vorwiegend qualitativen Aussagen

¹ s. z. B. BMBF: Quantentechnologien: [quantentechnologien.de](https://www.bmbwf.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/07/quantentech_nologien.de)

² s. z. B. Quantum Flagship: [qt.eu](https://www.quantum-flagship.eu/)

³ s. z. B. Quantum Valley Lower Saxony: [qvls.de](https://www.qvls.de/)

⁴ Coordination and support action for Quantum Technology Education: qt.eu/about-quantum-flagship/projects/education-coordination-support-actions/

im Studienverlauf schließlich quantitative Einschätzungen gesammelt werden können ([4, S. 36]).

Die Delphi-Methode zeichnet sich durch einen iterativen Befragungs- und Feedbackprozess aus. Dabei werden jeweils die Ergebnisse der vorherigen Befragungsrunde an die Teilnehmenden zurückgespiegelt und beeinflussen so die nachfolgende Befragungsrunde durch die Darbietung zusätzlicher Informationen und Kontexte (vgl. [4, S. 49 f.]). Die hier berichtete Studie wurde dreistufig angelegt, wie in Abb. 1 dargestellt.

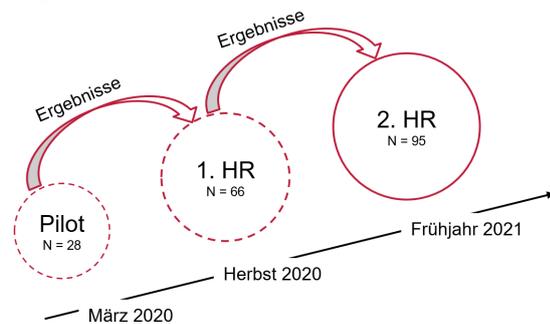


Abb. 1: Schematik der vorliegenden Delphi-Studie. Das Expertenpanel ist in der Pilotrunde kleiner und die Fragen sind noch teilweise offen gehalten, dargestellt durch den kleineren Kreis mit gestricheltem (offenen) Rand. Hingegen sind die Fragen in der zweiten Hauptrunde (nahezu vollständig) geschlossen, der "Kreis" der Experten deutlich größer. Über Feedback werden die Hauptrunden jeweils durch die vorhergehende Runde iterativ beeinflusst.

2.2. Datenanalyse

Die Auswertung der in der Delphi-Studie erhobenen Daten hat die Aggregation von Ansichten und Bündelung von Aussagen zum Ziel, die im nachfolgenden Fragebogen zur Präzisierung und Bewertung vorgelegt werden. Durch den iterativen Prozess beeinflusst die Aufbereitung der Daten und ihre Einarbeitung in den nächsten Fragebogen die Studie maßgeblich.

Zur Analyse der Daten wurden, je nach Runde, Verfahren nach verschiedenen Schwerpunkten herangezogen. Die Pilotrunde war durch vorwiegend offene Fragen geprägt. Entsprechend lag der Fokus auf qualitativen Methoden wie der qualitativen Inhaltsanalyse [6]. Zur Analyse von Freitextantworten wurde die Software MaxQDA⁵ in Version 12 genutzt. Ein Fünftel der Antwortdatensätze wurden mit Hilfe eines Kodiermanuals von einem zweiten, unabhängigen Beurteiler kodiert. Die Beurteilerübereinstimmung kann im Fachjargon nach Landis und Koch [7] als "almost perfect" ($\kappa > 0,8$) bezeichnet werden.

Im Verlauf der Studie verschob sich der Schwerpunkt dann zu den quantitativen Methoden wie der deskriptiven Statistik. Zudem bieten Diverging Stacked Bar Charts [8] anschauliche Übersichten über Bewertungen und Einschätzungen. Ein Beispiel wird in Abschnitt 3.3 mit Abb. 4 vorgestellt.

⁵ maxqda.com

2.3. Teilnehmende

Die Teilnehmenden wurden über Netzwerke des Quantum Flagship wie das QCN, Newsletter, das QuIC und weitere Listen interessierter Personen geworben. Der Aufruf wurde zudem über den Flagship-Account auch auf Twitter und LinkedIn geteilt.

In allen drei Runden wurden mit denselben Fragen die beruflichen Hintergründe ermittelt. Aus der Pilotrunde konnten 28 Antworten ausgewertet werden. Diese Personen haben vorwiegend einen wissenschaftlichen Hintergrund mit Lehranteilen, während Industrie, IT und Anwendung kaum vertreten waren. Dieses Verhältnis hat sich in den beiden Hauptrunden verschoben, von ca. 85:15 zu etwa 65:35.

Die Teilnehmendenzahl der ersten Hauptrunde ist mit 66 mehr als doppelt so hoch wie in der Pilotrunde, die der zweiten Hauptrunde liegt sogar bei 95. Dabei sind Teilnehmende aus rund 30 verschiedenen Ländern, hauptsächlich aus der EU, vertreten.

Alle Angaben zur zweiten Hauptrunde sind vorläufig und sollen einen groben Eindruck geben, die Auswertung steht noch aus.

3. Darstellung ausgewählter Ergebnisse

Nachfolgend werden exemplarisch drei Ergebnisse der Studie im Kontext des Delphi-Prozesses dargestellt. Dabei wird besonders die Entwicklung über die drei Befragungen erläutert, also der Umgang mit den Ergebnissen der vorherigen Runde.

3.1. Begriff Quantum Awareness: Kritik und Alternativen

Im Flagship-Kontext wurde der Begriff Quantum Awareness genutzt, um das Grundverständnis für Quantentechnologien zu beschreiben, welches künftige Fachkräfte mitbringen sollten. Dieser Begriff wurde daher auch in der Pilotrunde verwendet, um nach dem Verständnis dieses Begriffes zu fragen. Allerdings wurde er von einzelnen Teilnehmenden kritisiert, da der Begriff auch im Kontext von Esoterik verwendet würde.

Deshalb wurde in der ersten Hauptrunde erfragt, ob der Begriff beibehalten oder doch zu einem anderen gewechselt werden sollte. Für die Beibehaltung stimmten 29 Teilnehmende, während ebenfalls 29 Befragte alternative Begriffe vorschlugen. Die mehrfach genannten Vorschläge wurden dann in die zweite Hauptrunde zur Abstimmung gegeben.

Mit rund einem Drittel der Stimmen wird Quantum Literacy favorisiert, vor Quantum Knowledge oder Quantum Technology Awareness. Ein Festhalten an Quantum Awareness wurde nur noch von einem kleinen Teil der Teilnehmenden befürwortet, Quantum Readiness konnte nicht überzeugen. Der Begriff Quantum Literacy wird etwa an der Durham University in der Gruppe um Nita [9] bereits verwendet.

3.2. Sammlung von Kompetenzen für ein Competence Framework

Aus der Pilotrunde ergaben sich mittels der qualitativen Inhaltsanalyse der Antworten auf Freitextfragen vier zentrale Bereiche. Diese werden die mit Ankerbeispielen in Abb. 2 dargestellt und in [2, 3] ausführlich diskutiert.

In der ersten Hauptrunde wurde diese Übersicht zur Inspiration in eine vorstrukturierte Frage gegeben. Diese Frage besitzt eine dreischrittige Struktur in Anlehnung an Häußler et al. [10]. Mit der Frage wird die Erhebung konkreterer Kompetenzen forciert. Dazu sollten die Teilnehmenden einen Teilbereich nennen, auf den sie sich konzentrieren, und für diesen Kompetenzen unter drei Aspekten angeben: neben der eigentlichen Kompetenz auch wofür diese benötigt wird und auf welchem Level. Dabei war noch zu unterscheiden, ob „User“ oder „Developer“ betrachtet werden, also Grundkenntnisse zur Anwendung oder vertiefte Kenntnisse zur Entwicklung benötigt werden.

Eine Beispielantwort, die auch in der Frage zur Verfügung gestellt wurde, zeigt Tab. 1. Sie kann zusammengesetzt gelesen werden als „Die Kompetenz des Verständnisses von Qubitoperationen ist nützlich für das Erstellen von Quantenalgorithmien und das dabei benötigte Expertiselevel für User entspricht vertieften

Grundkenntnissen über das Qubit-Konzept und die Auswirkungen verschiedener Operatoren auf formal-logischer Ebene.“

In der ersten Hauptrunde wurden 180 solcher Kompetenzen für 55 Teilbereiche genannt. Diese wurden inhaltlich kategorisiert und sortiert. Eine Zuordnung der Teilbereiche zu den vier Bereichen aus der Pilotrunde wird in [3] diskutiert.

Die kategorisierten (Teil-)Antworten wurden zu neuen oder übergreifenden Bereichen sortiert und Zusammenhänge von mehrfach kodierten Antworten abgebildet. Dabei hat sich die Kollaborations- und Planungssoftware Miro⁶ durch die hohe Flexibilität zur Anordnung von Objekten als sehr nützlich erwiesen. Abb. 3 zeigt anhand ausgewählter Sortierungs- und Anordnungsiterationen den Prozess der Frameworkentwicklung, bei dem sich neben den sieben Feldern auch die Grobstruktur aus den drei Bereichen theoretischer Hintergrund, praktischer Hintergrund und Quantentechnologien, also den konkreten Anwendungen, herausgestellt hat.

Auf dieser Basis sowie mit weiterem Experteninput konnte im Projekt QTedu-CSA die Beta-Version des Competence Framework for Quantum Technologies abgeleitet werden. Als Vorlage diente dabei DigCompEdu⁷, das europäische Digital Competence Framework for Educators.

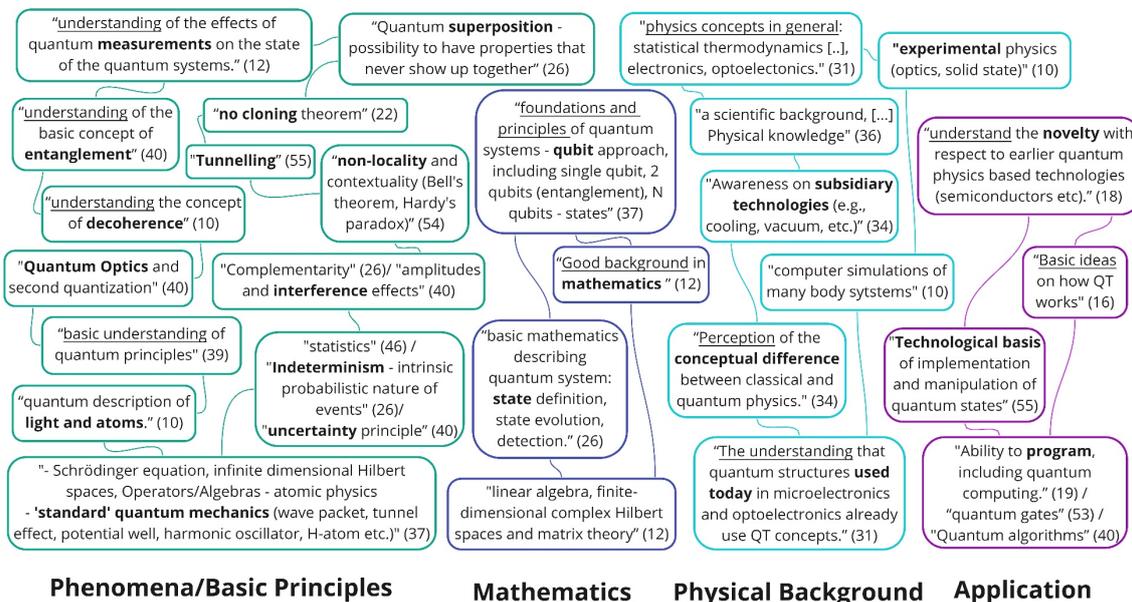


Abb. 2: Überblick über die in der Pilotrunde genannten Kompetenzen. Aus der Inhaltsanalyse ergaben sich die vier Kategorien, von denen die Phänomene/Grundlagen am häufigsten vertreten waren, die Mathematik deutlich weniger, die physikalischen Hintergründe wiederum etwas mehr und die Anwendungen auch noch eher wenig. Dargestellt sind einige Ankerbeispiele zur Verdeutlichung.

competence	useful for	needed level of expertise
understanding of qubit operations [...]	composing quantum algorithms [...]	U: deeper basic knowledge of the qubit concept and the effects of different operators on a formal-logical level. [...]

Tab. 1: Beispielantwort für die vorstrukturierte Frage zur Kompetenzerhebung in der ersten Hauptrunde.

⁶ miro.com/de/index/

⁷ ec.europa.eu/jrc/en/digcompedu

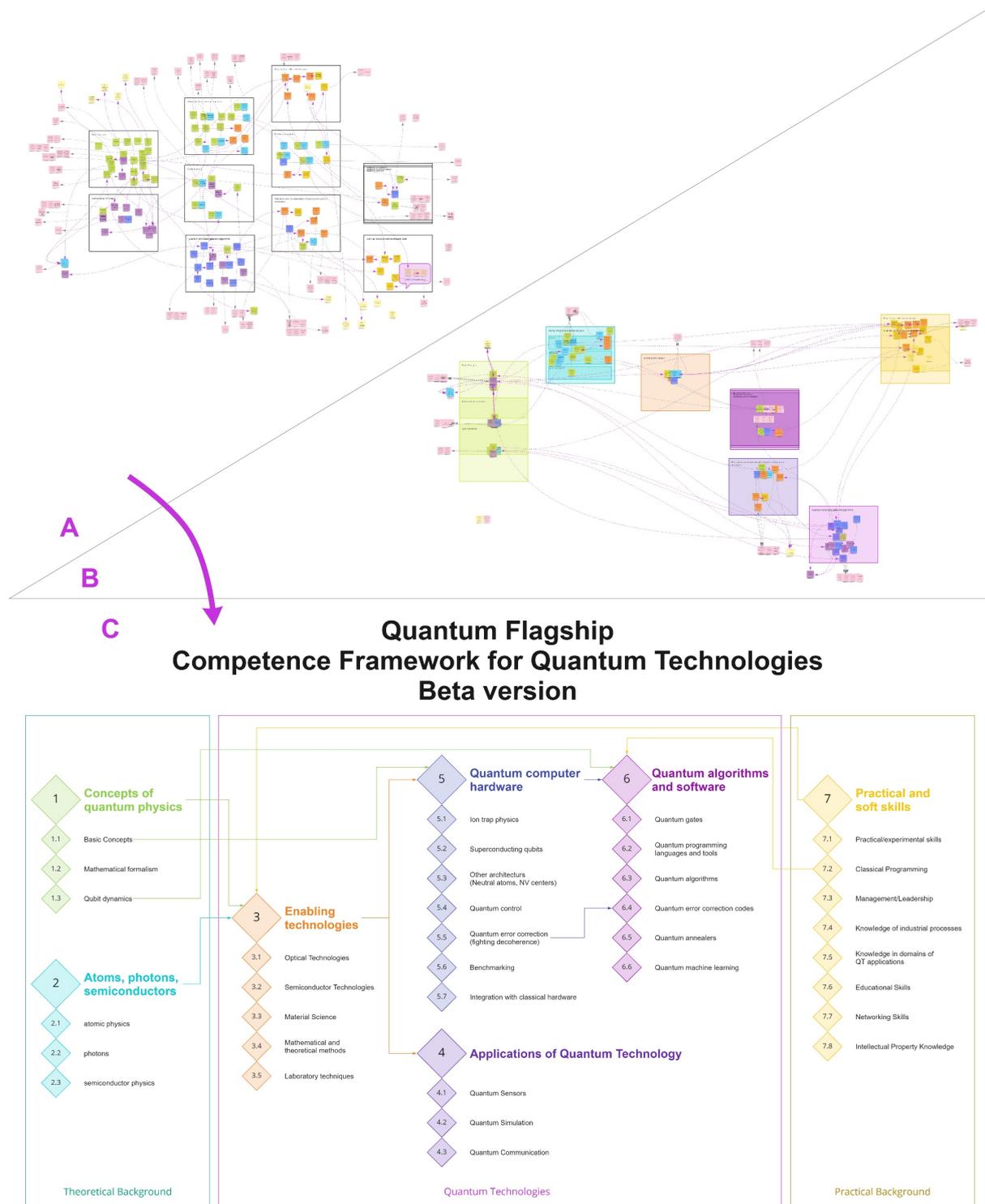


Abb. 3: Entwicklungsprozess der Betaversion des Competence Frameworks (C), angefangen bei einer Sortierung/Rekategorisierung (A) über eine Anordnung/Clusterung (B) bis zur fertigen Betaversion (C), basierend auf Antworten aus der ersten Hauptrunde in Miro. Die bunten Notizzettel (kleine Quadrate) enthalten jeweils einen Antwortteil, der zuvor kategorisiert wurde. Die zugehörige Kategorie wird durch die Farbe der Zettel angegeben. Antwortteile, die zu einer Antwort gehören, werden durch Verbindungslinien einander zugeordnet oder mit Überlapp direkt nebeneinander gruppiert.

Abb. 3 zeigt auch die Übersichtsseite der Beta-Version mit der oben beschriebenen Grobstruktur der drei Bereiche und den sieben zugehörigen Feldern, die sich aus den vorherigen Kategorien ergeben haben. Zu jedem dieser sieben Felder gibt es Unterpunkte,

die auf den hier nicht dargestellten Detailseiten des Frameworks weiter ausgeführt und durch Ankerbeispiele in Form von Zitaten aus der ersten Hauptrunde erläutert werden.

Die meisten der identifizierten und im Framework aufgeführten Bereiche sind sehr fachspezifisch, weshalb sich zur Überarbeitung Experteninterviews anboten. Diese wurden Ende März/Anfang April 2021 durchgeführt und werden hier nicht weiter diskutiert. Abschließend liegt der Schwerpunkt unserer Delphi-Studie in der zweiten Hauptrunde auf dem Kompetenzbereich 7 des Competence Frameworks (vgl. Abb. 3), nämlich den Practical and soft skills. Dieser Fokus ist dadurch zu begründen, dass dieser Bereich sich durch seine große Spannweite und Offenheit bei gleichzeitigem Mangel an konkreten Experten in Bezug auf Softskills für Quantenfachkräfte auszeichnet und so eine sinnvolle Ergänzung zur Methode bietet.

Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, sich eine Stelle für eine Quanten-Fachkraft vorzustellen und zu beschreiben. Für diese waren dann die ermittelten Aspekte der Practical and soft skills zu bewerten und ggf. zu ergänzen. Eine Clusteranalyse und Auswertung anhand der beschriebenen Berufsbilder steht noch aus, insgesamt wurden die aufgeführten Punkte jedoch bereits tendenziell bestätigt.

Zudem wurde in der ersten Hauptrunde eine starke Fokussierung auf Quantencomputing festgestellt. Diesem Bereich wurden mehr als doppelt so viele Antworten zugeordnet als den anderen drei großen Bereichen (Sensing/Metrology, Communication, Simulation) zusammen. In der Beta-Version des Competence Frameworks ist dies durch zwei Bereiche zum Computing und einen zu den anderen Anwendungsfeldern erkennbar. Diese Schwerpunktsetzung wurde von der Community aber kritisch betrachtet.

In der zweiten Hauptrunde wurde daher nach einer favorisierten Verteilung des Lehraufwandes mit Anwendungsbezügen auf die vier großen Bereiche gefragt. Die Antworten fielen sehr unterschiedlich aus, von starken Fokussierungen im Computing, aber auch in anderen Bereichen, bis hin zu völliger Gleichverteilung. Eine so starke Schwerpunktsetzung wie in der Betaversion konnte damit nicht gestützt werden.

Anhand weniger Ergänzungen aus der finalen Delphi-Runde und dem Input aus den Experteninterviews wurde im Mai 2021 die überarbeitete „Version 1.0“ des Competence Frameworks auf der Projektwebsite des QTedu CSA⁸ vorgestellt – diesmal ohne den starken Computing-Fokus.

3.3. Relevanzeinschätzungen für Quantentechnologien

Einen weiteren Teil der Delphi-Studie bildet die Erhebung von Prognosen zur künftigen Relevanz von Quantentechnologien. In der Pilotrunde wurde eine Einschätzung der Relevanz heute und in 5-10 Jahren erfragt, jeweils für den eigenen Bereich, Industrie,

Wissenschaft und Gesellschaft. Besonders für die Industrie wurde eine deutliche Steigerung der Relevanz prognostiziert, siehe auch [3].

Diese Einschätzung wurde zum Anlass, in der ersten Hauptrunde genauer nachzufragen, wie die erwartete Entwicklung in der Industrie für die einzelnen Technologiebereiche aussieht. Die zu bewertenden Zeiträume wurden dieses Mal auf die nahe Zukunft, also in 5-10 Jahren, und die langfristige Entwicklung konkretisiert. Ein Grund dafür waren Angaben aus der Pilotrunde, die etwa dem Quantencomputing in naher Zukunft noch keine so große Bedeutung einräumen, in diesem Bereich aber das größte Potential sahen. Zudem ist jetzt der Zeitpunkt, die Ausbildung von Fachkräften für in 5-10 Jahren zu planen und zu beginnen, um dann, wenn die Technologien in der Industrie wirklich relevant werden, nicht mit einem Fachkräftemangel konfrontiert zu werden.

Abb. 4 zeigt die Einschätzungen aus der ersten Hauptrunde. Deutlich zu erkennen ist, dass Quantencomputing zunächst nicht so relevant eingeschätzt wird, langfristig aber schon, hier liegt die größte erwartete Verschiebung vor. Während in naher Zukunft der Fokus in den Bereichen Sensing/Metrologie, Kommunikation und Enabling Technologies erwartet wird, holt der Simulationsbereich langfristig auf, Computing wird sogar, gemeinsam mit der Kommunikation, langfristig am häufigsten als sehr wichtig eingeschätzt.

Für die zweite Hauptrunde wurden Statements formuliert, die obige Beobachtungen und weitere Aussagen zur künftigen Entwicklung im Bereich der Quantentechnologien enthalten. Zudem wurden ausgewählte Zitate aus der ersten Hauptrunde aufgegriffen, die auffällige Meinungen enthalten. Beispielsweise wurde geäußert, dass langfristig alle Bereiche ihre Relevanz verlieren, da sie überholt oder adaptiert werden. Bereits in der ersten Hauptrunde wurde von 6-21 % der Teilnehmenden für die einzelnen Bereiche abnehmende Relevanz prognostiziert, besonders für die Sensorik, aber auch für Simulation und Enabling Technologies. Ein anderes Zitat thematisiert die Rolle der Kommunikation. Es heißt, dieser Bereich bleibe ein nur im akademischen Feld interessanter Bereich, für die Anwendung sei die Quanten-Schlüssel-Verteilung (QKD) nur unnötig teuer im Vergleich zu anderen Post-Quantum-Krypto-Systemen.

Die Bewertung dieser Aussagen soll genaueren Aufschluss darüber liefern, welche Entwicklungen erwartet werden und somit Anhaltspunkte für Schwerpunkte bei der Aus- und Fortbildung liefern. Für eine größere Aussagekraft sollten die Teilnehmenden zusätzlich angeben, wie sicher oder unsicher sie sich mit den Einschätzungen sind. Die Auswertung der Daten aus der zweiten Hauptrunde steht noch aus.

⁸ qt.eu/about-quantum-flagship/projects/education-coordination-support-actions/

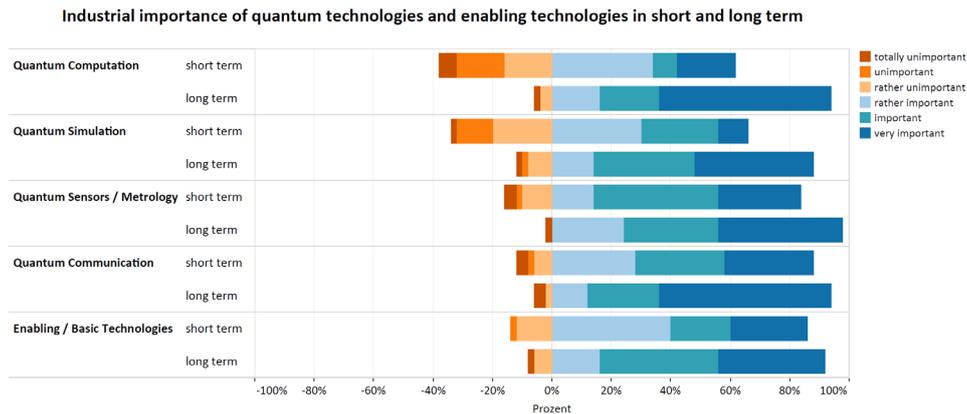


Abb. 4: Einschätzungen zur Relevanz von Quantentechnologien für die Industrie in naher Zukunft (5-10 Jahre) und langfristige aus der ersten Hauptrunde, dargestellt als Diverging Stacked Bar Charts, d. h. die Balken sind normiert und an der Nulllinie so ausgerichtet, dass die eine Skalenhälfte, eher bis sehr unwichtig, auf der linken Seite und die andere Skalenhälfte, eher bis sehr wichtig, auf der rechten Seite liegen.

4. Ausblick

Die vorgestellte Delphi-Studie hat bereits einige interessante Ergebnisse geliefert und mit der Auswertung der zweiten Hauptrunde werden noch einige weitere hinzukommen. Inwieweit die ermittelten Prognosen eintreten werden und ob sich tatsächlich der Begriff Quantum Literacy durchsetzen wird, wird sich erst in einigen Jahren zeigen.

Doch können die Ergebnisse schon heute genutzt werden, um die Quantenausbildung voran zu treiben. Das Competence Framework bietet bereits einen Ansatz zur Planung von Aus- und Fortbildungsprogrammen. In Zukunft sind noch weitere Dimensionen des Frameworks zu entwickeln. Neben der aktuellen vorwiegend inhaltlichen Ebene eine mit Kompetenzleveln zu den jeweiligen Bereichen. Zudem sind Schwerpunkte und Auswahlen für spezielle Berufsprofile, also gewissermaßen „Wege durch das Netzwerk“, geplant.

Die Delphi-Methode hat sich bei diesem Vorhaben bereits bewährt. Durch den iterativen Prozess konnten Kritiken und Alternativen diskutiert, sowie Angaben und Prognosen erfasst werden, welche in der letzten Runde weiter bewertet werden können. Aber auch danach wird der Prozess der Entwicklung des Competence Frameworks keineswegs abgeschlossen sein. Durch die eher noch zunehmende Dynamik des Feldes ist eine regelmäßige Überarbeitung und Ergänzung notwendig.

5. Literatur

- [1] Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M. und Weber, K.-A. (2020). Quantum Awareness im Ingenieurwesen: Welche Kompetenzen werden in der Industrie von morgen gebraucht? Erste Ergebnisse einer Delphi-Studie. *PhyDid B*, Bonn 2020, S. 437-443, phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/1034
- [2] Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M., & Weber, K.-A. (2021). "Requirements for

future Quantum Workforce"-Delphi-Studie: Ergebnisse der Pilotrunde. *GDCP Tagungsband, Band 41, online Jahrestagung 2020*, S. 709-12, gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_709_Gerke.pdf

- [3] Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M., und Weber, K.-A. (2021). Requirements for future quantum workforce – a Delphi study. *Journal of Physics: Conference Series*, eingereicht.
- [4] Häder, M. (2009): Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch. VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, DOI: [10.1007/978-3-531-91926-3](https://doi.org/10.1007/978-3-531-91926-3)
- [5] Clayton, M. J. (1997): Delphi: a technique to harness expert opinion for critical decision-making tasks in education. In *Educational Psychology*, 17 (4), 373-86, DOI: [10.1080/0144341970170401](https://doi.org/10.1080/0144341970170401)
- [6] Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Beltz Verlagsgruppe, Weinheim.
- [7] Landis, J. und Koch, G. (1977): The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(4), 159-74, DOI: [10.2307/2529310](https://doi.org/10.2307/2529310)
- [8] Robbins, N. und Heiberger, R. (2011): Plotting Likert and other rating scales. In: *Proceedings of the 2011 Joint Statistical Meeting*, 1058-66
- [9] Nita, L., Smith, L. M., Chancellor, N. und Cramman, H. (2021). The challenge and opportunities of quantum literacy for future education and transdisciplinary problem-solving. *Research in Science & Technological Education*. DOI: [10.1080/02635143.2021.1920905](https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905)
- [10] Häußler, P., Frey, K., Hoffmann, L., Rost, J. und Spada, H. (1980). Physikalische Bildung: Eine curriculare Delphi-Studie Teil II. IPN-Arbeitsberichte Nr. 42, Kiel.

Förderung

This study is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 951787.

