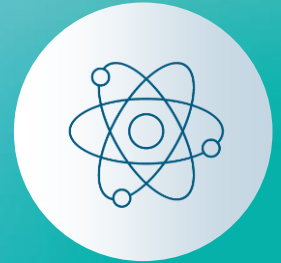


Quantentechnologien



Aktueller Stand

Quantentechnologien ermöglichen völlig neue hochkomplexe Anwendungen in der Kommunikationssicherheit, der Messtechnik und Bildgebung. Deutschland verfügt in diesem strategisch wichtigem Technologiebereich über eine ausgezeichnete Ausgangslage, um sich im internationalen Wettbewerb an führender Stelle zu positionieren. Die Bundesregierung hat dieses Potenzial früh erkannt und bereits 2018 ein Forschungsrahmenprogramm beschlossen, um diese Anwendungen zu erschließen. Während der Fokus zu Beginn v. a. auf der Demonstration der Nutzung von Quanteneffekten lag, ist es mittlerweile gelungen, den Mehrwert dieser Nutzung in den Anwendungsfeldern zu demonstrieren. Die hohe Genauigkeit und Sensitivität von Quantensensoren ist beispielsweise für Anwendungen in der Navigation, Geophysik, Erdbeobachtung, medizinische Bildgebung oder Produktions- und Materialkontrolle äußerst relevant. Die Quantenkommunikation bietet hohe Sicherheit für Kommunikationskanäle und damit Schutz vor Datendiebstahl und -verlust. Die öffentliche Förderung hat sowohl eine effiziente Vernetzung von Grundlagen- und angewandter Forschung initiiert als auch ein Ökosystem aufgebaut, in das etablierte deutsche Unternehmen und Start-ups eingebunden sind. Erste Kunden erproben bereits kommerzielle Anwendungen. Um das Potenzial dieser Technologien zielorientiert auszuschöpfen und in die Praxis zu überführen, sieht die Fraunhofer-Gesellschaft Handlungsbedarf in den folgenden Themenfeldern:



Unsere Empfehlungen im Fokus

- **Industriintegration und Technologietransfer** zum Erhalt einer internationalen Spitzenposition,
- **Standardisierung und Normung** sowie eine klare und international **abgestimmte regulatorische Klassifizierung**.
- **Langfristige und abgestimmte Förderperspektive** mit hoher Planungssicherheit.

Unsere forschungspolitischen Empfehlungen



Im Fokus: Industrieintegration und Technologietransfer

Das Instrument der Verbundforschung zur erfolgreichen Anregung des Technologietransfers von Quantentechnologien hat sich als erfolgreich erwiesen. Dieser Ansatz sollte mit dem Fokus auf die Integration in industrielle Anwendungen fortgesetzt werden. Formate wie mehrjährige Verbundvorhaben von grundlagenorientierter und anwendungsnaher Forschung mit der Industrie ermöglichen die Entwicklung neuer praktischer Anwendungen und marktfähiger Produkte. Dabei ist eine längerfristige Planungsperspektive mit einem Zeithorizont über mehrere Legislaturperioden hinweg maßgeblich. Die regulatorischen und bürokratischen Hürden für die Teilnahme von Unternehmen (v. a. KMU) an Innovationsprojekten sollten möglichst gering sein. Erleichterte Fördermaßnahmen im Rahmen der Start-up-Förderung, die Verfügbarkeit von Venture Capital und die Entbürokratisierung z. B. bei der Fachkräftegewinnung sind wünschenswert, um die Umsetzung wirksam zu unterstützen.

Darüber hinaus ist der Aufbau von **Reallaboren mit unkompliziertem Zugang zu Testbeds und Rechenressourcen** ein weiterer Hebel zur optimierten Einbindung der Industrie bzw. zur interdisziplinären Zusammenarbeit. Testumgebungen und Infrastrukturen sind notwendig, um neue Technologien unter realen Bedingungen zu testen, zu optimieren und potenzielle Risiken rechtzeitig zu identifizieren und zu adressieren. Sie bieten Unternehmen die Möglichkeit, frühzeitig Erfahrungen mit Quantentechnologien zu sammeln und deren Potenziale und Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten für die eigenen Anwendungen zu bewerten. Insbesondere für Start-ups und KMU bieten Reallabore die Bedingungen für eine schnelle Entwicklung und Skalierung ihrer quantentechnologischen Lösungen. Zudem ist der Zugang zu leistungsfähigen (Hochleistungs-) Rechenressourcen essenziell, um komplexe Berechnungen und Simulationen durchzuführen und die Entwicklung neuer Technologien voranzutreiben. Fraunhofer empfiehlt in Reallaboren auch eine verstärkte Zusammenarbeit mit staatlichen Stellen zur Entwicklung von **Normen und Standards** für den Einsatz von Quantentechnologien.



Im Fokus: Klare international abgestimmte regulatorische Klassifizierung und Standardisierung

Von besonderer Bedeutung für den Quantenstandort Deutschland sind die Regelungen des Außenwirtschaftsrechts sowie die **Weiterentwicklung von Normierung und Standardisierung**. Aus Sicht des **Außenwirtschaftsrechts** müssen v. a. die Hardware selbst (Quantencomputer, Quantensensoren, Quantenkommunikationskomponenten), die dazugehörige Software sowie der Bereich »Quantum as a Service« betrachtet werden. Auch die Einordnung von Daten, die mit Quantencomputern generiert wurden, ihre Einstufung und Weiterverwendung müssen festgelegt werden. Das bestehende Regelungsumfeld enthält auf EU-Ebene zum jetzigen Stand keine harmonisierten Vorgaben. Es finden sich nur Einzelkomponenten in der Liste europäischer Dual-Use-Güter wieder. Eine Gesetzesänderung der deutschen Außenwirtschaftsverordnung erklärte jüngst bestimmte Quantencomputer, dazugehörige Bestandteile sowie entsprechende Software zu nationalen Dual-Use-Gütern. Aufgrund des technologischen Fortschritts werden die dafür festgelegten Parameter jedoch schnell veralten. Eine Harmonisierung auf internationaler Ebene ist von hoher Bedeutung, um mit Blick auf mögliche strafrechtliche Konsequenzen (Stichwort Handelndenden-Haftung) Anwendungssicherheit herzustellen.

Aus Sicht der Fraunhofer-Gesellschaft ist es wünschenswert, dass der bisherige, rein güterbasierte Ansatz (mit Sanktionen und Endnutzer- und Endnutzungskontrollen) stärker zu einem endnutzungsorientierten Ansatz weiterentwickelt wird. Dafür ist die Schaffung von allgemeinen Genehmigungen notwendig, welche speziell auf die angewandte Forschung zugeschnitten sind, um den politisch erwünschten Austausch zu ermöglichen. Dies würde Gewissheit schaffen und dazu beitragen, den Prozess der Ausfuhrkontrolle im Wissenschaftsbereich zu beschleunigen. Um in der angewandten Forschung international wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es unerlässlich, Ausnahmeregelungen einzuführen. Dies schafft den Rahmen für eine höhere Anwendungssicherheit und breiterer Akzeptanz und stärkt so die effektive Durchführung von Exportkontrollen mit der Vermeidung von Proliferationsrisiken. Neben der außenwirtschaftlichen Klassifizierung von Quantentechnologien ist

insbesondere in den Feldern der Quantenkommunikation und -sensorik die **Weiterentwicklung von Normierung und Standardisierung** zentral für den Transfer sowie für den Aufbau von interoperablen und skalierbaren technologischsouveränen Ökosystemen. In diesem Kontext sollte die Zusammenarbeit in und mit führenden Standardisierungsgremien auf nationaler (u. a. DIN, BSI) und internationaler Ebene gestärkt werden, um entsprechende Standards in einem frühen Stadium der Technologie-durchdringung vorzubereiten. Nur so kann ein offener und skalierbarer Markt unter fairen Bedingungen geschaffen werden. Zusätzlich zu den Standardisierungsaktivitäten sind Verfahren für die Qualitätssicherung und Zulassung von quantenbasierten Systemen zu definieren. Diese Zulassungsverfahren müssen v. a. dann Anwendung finden, wenn Systeme im Umfeld von kritischen Infrastrukturen eingesetzt werden.



Im Fokus: Langfristig abgestimmte Förderung und Planungssicherheit

Speziell im Bereich Quantencomputing wurde eine gut strukturierte Förderung der verschiedenen Technologie-Hubs aufgesetzt. Dennoch besteht Optimierungsbedarf bezüglich der Koordination zwischen Fördermaßnahmen einzelner Bundesministerien und der Länder. Die aktuelle Förderstruktur führt stellenweise zu einer unnötigen Fragmentierung der Forschungslandschaft. Eine langfristige Perspektive der Förderkonzepte ist teils noch unklar.

Fraunhofer empfiehlt daher, **eine umfassende nationale Strategie für Quantentechnologien** zu entwickeln, die gemeinsame und übergreifende Ziele und Prioritäten des Bundes und der Länder enthält und damit über das bestehende »Handlungskonzept Quantentechnologien« hinausgeht. Sie sollte dann als Leitfaden für die Ausarbeitung gemeinsamer themenspezifischer Ausschreibungskonzepte und Förderprogramme dienen, für die beide Ebenen zielgerichtet finanzielle Mittel bereitstellen. Dabei ist eine Struktur mit regionalen Exzellenzzentren denkbar, die auf bestimmte Aspekte der Quantentechnologien spezialisiert sind, damit regionale Kompetenzen stärken und gleichzeitig nationale Fortschritte vorantreiben. Besonders im Quantencomputing sollte der Fokus auf der Technologieentwicklung und erst dann auf der Förderung von Anwendungsplattformen liegen. Um kontinuierlichen Fortschritt in den Quantentechnologien zu gewährleisten, wird eine langfristige und planbare Finanzierung und Unterstützung mit Perspektiven über die initialen Förderperioden hinaus benötigt. Die nationale Strategie sollte daher als Roadmap zur Orientierung für alle Beteiligten langfristige Ziele und Meilensteine beinhalten, die regelmäßig überprüft und anhand der erzielten Ergebnisse sowie sich ändernder Entwicklungen angepasst werden.

Neben der Vernetzung der einzelnen nationalen Forschungsaktivitäten ist die **internationale Zusammenarbeit** von großer Bedeutung. Deutsche Förderprogramme sollten stärker mit europäischen Initiativen wie dem Quantum Flagship-Programm verknüpft werden, um Zugang zu zusätzlichen Ressourcen und Netzwerken zu erhalten. Die Synchronisation nationaler Förderprogramme mit EU-Initiativen und die Nutzung von Synergien beugt Redundanzen vor und stellt die effiziente Nutzung nationaler Förderung sicher. Fraunhofer empfiehlt deshalb den

zielgerichteten Aufbau von **bilateralen FuE-Programmen** (Förderquoten von 100 Prozent) mit führenden Nationen im Bereich Quantentechnologien. Dies umfasst gemeinsame Forschungsprojekte und Initiativen sowie Austauschprogramme und gilt für Partner innerhalb und außerhalb der EU (z. B. USA, Kanada, Japan, Südkorea, Schweiz, UK).



Im Fokus: Technologiebeispiel Quantenkommunikation

Quantenkommunikation bietet gegenüber herkömmlichen Kommunikations- und Kryptographie-Technologien ein besonders hohes Maß an Sicherheit und damit Schutz vor Datendiebstahl und -verlust. Dieses Alleinstellungsmerkmal hat die öffentliche Förderung früh erkannt und umfassend und langfristig unterstützt. Hervorzuheben ist unter anderem die vom BMBF geförderte **QuNET-Initiative**, die von diversen Landesprojekten flankiert wird. Durch langfristige Fördermaßnahmen wurden bereits große technologische Fortschritte erzielt. Das betrifft sowohl Demonstratoren wie eine mittels **Quantum Key Distribution** abgesicherte Videokonferenz zwischen Bundesbehörden als auch den Aufbau realer Testbeds und Quantenkommunikationsinfrastrukturen, um Anwendungsfälle wie den Austausch von Patientendaten zu bearbeiten.

Auch die Industrie hat das Thema umfassend aufgegriffen. So engagieren sich u. a. die Deutsche Telekom, Rohde & Schwarz, Infineon, Siemens und Start-ups wie die Q.ANT GmbH in der Forschung zu quantensicheren Kommunikationslösungen und Infrastruktur. Auf europäischer Ebene zielt insbesondere die EuroQCI-Initiative darauf, ein sicheres europäisches Quantenkommunikationsnetzwerk zu schaffen, das sowohl terrestrische als auch satellitenbasierte Kommunikationskanäle umfasst. Um das volle Potenzial der Technologie sowohl für die wirtschaftliche als auch öffentliche Nutzung zugänglich zu machen, wird die internationale Abstimmung beim Aufbau bzw. der Erweiterung von Quantenkommunikationsinfrastruktur empfohlen. Dabei sollten Aktivitäten zur Entwicklung und Implementierung von Standards intensiviert werden, um Interoperabilität und Kompatibilität sicherzustellen. Hier ist insbesondere eine enge Kooperation in und mit führenden Standardisierungsgremien auf nationaler und europäischer Ebene wichtig. Die Schaffung klarer rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen für die Einführung und Nutzung von Quantenkommunikation sollte parallel dazu national und EU-weit abgestimmt werden. Insgesamt sollte die Kooperation mit europäischen Partnern und Initiativen wie EuroQCI weiter gestärkt werden, um eine paneuropäische Quantenkommunikationsinfrastruktur zu schaffen.

Schnittstellen

	Innovative Gesundheitsforschung	Circular Economy	Zukunftsfähige Wasserversorgung	Energiesystem der Zukunft	Leistungsfähige und nachhaltige Mobilitätswirtschaft	Digitaler Industriestandort	Cybersicherheit	Quantentechnologien	Verteidigungsforschung in der Zeitenwende	Luft- und Raumfahrt	ZukunftsMissionBau. Sicher nachhaltig. bezahlbar.
● Hauptbezug											
○ Nebenbezug											
Innovative Gesundheitsforschung	●				○						
Circular Economy		●	○	○	○	○				○	
Zukunftsfähige Wasserversorgung		○	●	○	○	○			○	○	
Energiesystem der Zukunft		○	○	●	○	○			○	○	
Leistungsfähige und nachhaltige Mobilitätswirtschaft	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	
Digitaler Industriestandort		○	○	○	○	●	○				
Cybersicherheit					○	○	●	○			
Quantentechnologien					○		○	●	○		
Verteidigungsforschung in der Zeitenwende					○			○	●		
Luft- und Raumfahrt		○	○	○	○					●	
ZukunftsMissionBau. Sicher nachhaltig. bezahlbar.											●

Über die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.

Kontakt

Herausgeber

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Im Auftrag des Vorstands
Hansastraße 27 c, 80686 München
<https://www.fraunhofer.de>

Ansprechperson

David Rausch
Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft, Abteilung Wissenschaftspolitik
Telefon: +49 89 1205-1622
E-Mail: david.rausch@zv.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V.. München 2024

Verzeichnis der Mitwirkenden

Kim Behlau

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Anja Haslinger

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Manfred Hauswirth

Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme
FOKUS

Verena Manger-Lemke

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Felix Pyatkov

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Rüdiger Quay

Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF

David Rausch

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Anita Schöbel

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik
ITWM

Dr. Annkatrin Sommer

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Fraunhofer-Institut für Optik und Feinmechanik IOF

Dr. Hannah Venzl

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Jan Weber

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft