

Technologie-Roadmap

Version 1.0 – Stand Mai 2026

Quantentechnologie



Initiiert durch:



Die
Bundesregierung

Hightech
Agenda
DEUTSCHLAND

Inhaltsverzeichnis

Meilensteine zur Zielerreichung – die Technologie-Roadmap	2
Ziel 1: Quantencomputing.....	2
Ziel 2: Quantensensorik.....	4
Ziel 3: Quantenkommunikation	6
Ziel 4: Fachkräfte.....	7
Maßnahmenpakete von Bund und Ländern	8
Einordnung der Technologie-Roadmap	9
Hintergrund Technologie-Roadmaps der HTAD.....	11
Hebel für die Technologie-Roadmap	12
Marktpotenzial und ausgewählte Anwendungsfelder	14
Impressum	16

Meilensteine zur Zielerreichung – die Technologie-Roadmap

Ziel 1: Quantencomputing

Im Quantencomputing wollen wir bis zum Jahr 2030 mindestens zwei fehlerkorrigierte Quantencomputer auf europäischem Spitzenniveau realisieren und diese Nutzern zugänglich machen.

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestalten sind.		Meilen-stein-nummer
			Nachfolgend Ansatzpunkte bzw. erste Beispiele für		
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner	
Schlagkräftige Konsortien aus Wissenschaft und Wirtschaft zur Realisierung von Quantencomputern gebildet	Q4 2026	Missionsgetriebenen Wettbewerb zur Weiterentwicklung der drei aussichtsreichsten QC-Plattformen (Ionenfallen, neutrale Atome, supraleitend) mit verbindlicher Meilensteinplanung und Output-Orientierung durchführen.	Konsortien erreichen Eingangskriterien der Competition Benötigte Co-Finanzierung durch Unternehmen gesichert Anzahl der Konsortien (Zielmarke: ca. 5)	Start-ups (Systemintegratoren) Max-Planck-Gesellschaft Fraunhofer-Gesellschaft Helmholtz-Gemeinschaft WGL Hochschulen Ressortforschung (PTB) KMU (Enabling Technologies)	QT-QC1
Mindestens drei Pilotlinien im EU-Fab-Netzwerk etabliert	Q4 2026	Mindestens drei deutsche Beteiligungen bzw. Pilotlinien als Knoten im europäischen „From Lab to Fab“-Netzwerk im Rahmen des Chips Joint Undertaking operativ. Ermöglicht systematischen Transfer von Forschungsergebnissen in skalierbare Fertigung.	Anzahl Pilotlinien, die den Betrieb starten (Zielmarke: ≥3)	EU-Kommission Halbleiterindustrie Fraunhofer-Gesellschaft	QT-QC2
Erste logische Qubits in Deutschland produziert	2028	Demonstration erster logischer Qubits; markiert Übergang zu fehlertoleranten Systemen, wichtiger Meilenstein des Hardwarewettbewerbs (baut auf QT-QC1 auf).	Peer-reviewed Publikation: Fehlerrate unterhalb des Schwellenwerts für effektive Fehlerkorrektur	Start-ups (Systemintegratoren) Max-Planck-Gesellschaft Fraunhofer-Gesellschaft Helmholtz-Gemeinschaft Hochschulen KMU (Enabling Technologies)	QT-QC3

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestaltet sind.		Meilen-stein-nummer
			Nachfolgend Ansatzpunkte bzw. erste Beispiele für		
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner	
Mindestens zwei Quantencomputing-Start-ups in Scale-up-Phase überführt	2028	Mindestens zwei Quantencomputing-Start-ups in der Scale-up-Phase mit großer Finanzierungsrunde, z. B. über europäisches Venture Capital.	Anzahl Start-ups, die Finanzierungsrunden erfolgreich durchführen konnten (Zielmarke: ≥2)	Venture Capital QC-Start-ups Landesinitiativen Quantentechnologien Tech-Transfer Initiativen	QT-QC4
Rechenzentren mit Quantencomputern ausgestattet	2029	Abschluss der Beschaffung von QC-Hardware durch mindestens drei Rechenzentren, um diese darauf folgend Anwendern zur Verfügung zu stellen und gleichzeitig Start-ups zu befähigen, Umsätze am Markt zu erzielen.	Europäischer Anbieter erfüllt die Ausschreibungskriterien Betriebsbeginn der QC-Hardware, Anzahl Unternehmen und Start-ups, die an Use Cases an Innovationszentren arbeiten (Zielmarke: ≥20)	Supercomputing-Zentren Deutsche und ggf. europäische Quantencomputing-Anbieter	QT-QC5
Softwarestack vollständig entwickelt und integriert	2030	Softwarestack fürs Quantencomputing auf internationalem Spitzenniveau fertiggestellt und in Rechenzentren integriert. Als wichtiger Zwischenschritt sind bereits in 2028 erste Architekturen für alle Layer des Softwarestacks realisiert und standardisierte Schnittstellen definiert.	Erste Software-Funktionalitäten wurden bis 2028 demonstriert. QC-Hardware steht zur Remote-Nutzung zur Verfügung.	Supercomputing-Zentren Quantensoftware-Unternehmen Fraunhofer-Gesellschaft Forschungsgruppen	QT-QC6
Rechenoperationen mit logischen Qubits ausgeführt	2030	Fehlerkorrigierte Qubits genutzt, um erste einfache Rechnungen auszuführen; wichtiger Meilenstein des Hardwarewettbewerbs (baut auf QT-QC1 und QT-QC3 auf).	Erfolgreiche Durchführung einer fundamentalen Rechenoperation mit logischen Qubits, die einen exponentiellen Geschwindigkeitsvorteil ermöglichen (insbesondere Quanten-fouriertransformation), Ergebnisse werden in technischen Standards als Best Practice festgehalten.	Start-ups (Systemintegratoren) Max-Planck-Gesellschaft Fraunhofer-Gesellschaft Helmholtz-Gemeinschaft Hochschulen KMU (Enabling Technologies)	QT-QC7

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Nachfolgend Ansatzpunkte bzw. erste Beispiele für		Meilen-stein-nummer	
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner		
Quantenvorteil demonstriert	2032	Quantenvorteil in mindestens zwei praxisrelevanten Anwendungen in Deutschland demonstrieren. Ergebnisse werden anwendungsorientiert in der europäischen und/oder internationalen Normung verstetigt.	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestalten sind.	Demonstration einer Rechnung, bei der der wirtschaftliche Nutzen die Betriebskosten des Quantencomputers übersteigt	Start-ups (Systemintegratoren) Max-Planck-Gesellschaft Fraunhofer-Gesellschaft Helmholtz-Gemeinschaft (u. a. DLR) Hochschulen KMU (Enabling Technologies) Ressortforschung (PTB) Anwender-unternehmen Supercomputing-Zentren	QT-QC8

Ziel 2: Quantensensorik

Wir sorgen dafür, dass bis 2030 mithilfe von Quantensensoren Krankheiten frühzeitiger erkannt werden und erschließen mindestens ein weiteres Anwendungsfeld für die Technologie.

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Nachfolgend Ansatzpunkte bzw. erste Beispiele für		Meilen-stein-nummer	
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner		
Transferzentren für Quantensensorik etabliert	2027	Mindestens zwei Transferzentren für Quantensensorik mit Anbindung an vorhandene Strukturen, Anwendungsfokus aus den Bereichen Lebenswissenschaft, Umweltmonitoring, Geodäsie, Luft- und Raumfahrt und Industrie.	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestalten sind.	Betriebsbeginn Anzahl Unternehmen, die an Use Cases in verschiedenen Anwendungsfeldern arbeiten (Zielmarke: ≥ 20) Anteil Unternehmen, die Systemintegratoren der Gesamtlösung für unterschiedliche Anwendungsfälle sind (Zielmarke: $\geq 25\%$)	Entwickler- und Anwenderindustrie Max-Planck-Gesellschaft Fraunhofer-Gesellschaft Helmholtz-Gemeinschaft (DLR) WGL Hochschulen Ressortforschung (PTB)	QT-QS1

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestaltet sind.		Meilen-stein-nummer
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner	
Anzahl Unternehmen, die an Use Cases in verschiedenen Anwendungsfeldern arbeiten (Zielmarke: ≥20)	2029	Quantensystem erfüllt technologische Anforderungen für Früherkennung von Krankheiten oder frühzeitige Behandlungsbewertung.	<p>Hochsensitive und hochspezifische Detektion von Biomarkern zur Tumoridentifikation und Charakterisierung erfolgt</p> <p>Hochaufgelöste Bildgebung für molekulare Prozesse erreicht nötige Genauigkeit für eine frühzeitige Behandlungsbewertung.</p> <p>Hoher Integrierungsgrad in klassische diagnostische und therapeutische Workflows nachgewiesen</p>	<p>Entwickler- und Anwenderindustrie</p> <p>Max-Planck-Gesellschaft</p> <p>Fraunhofer-Gesellschaft</p> <p>Helmholtz-Gemeinschaft</p> <p>Universitätskliniken</p> <p>Ressortforschung (PTB)</p>	QT-QS2
Anteil Unternehmen, die Systemintegratoren der Gesamtlösung für unterschiedliche Anwendungsfälle sind (Zielmarke: ≥25 %)	2031	<p>Quantensensor erfüllt technologische Anforderungen für Anwendungen in Satellitentechnik, Navigation und Umweltmonitoring; höhere Messgenauigkeit ermöglicht insbesondere neue Konzepte in der Navigation.</p> <p>Veränderte Umweltbedingungen werden schneller bemerkt.</p>	<p>Robuste und miniaturisierte Gyroskope für Lageregelung in allen Achsen erreicht</p> <p>Abschirmungsfreie Gradiometer für mobile Geoexploration mit erhöhter Usability erreicht</p> <p>Gravimeter ermöglicht höhere zeitliche und räumliche Auflösung für großflächige Navigation und Kartierung.</p> <p>Transportable Uhren ermöglichen Höhenauflösung von 1 cm</p>	<p>Entwickler- und Anwenderindustrie</p> <p>Max-Planck-Gesellschaft</p> <p>Fraunhofer-Gesellschaft</p> <p>Helmholtz-Gemeinschaft</p> <p>Hochschulen</p> <p>Ressortforschung (PTB)</p>	QT-QS3
Quantenvorteil für erste Anwendungen im Sensorbereich demonstriert	2032	Mindestens sechs Projekte demonstrieren Quantenvorteil für praxisrelevante Anwendungsfälle	<p>Ausgearbeitete Systemlösung ist in relevanter Anwendungsumgebung getestet und evaluiert.</p> <p>Quantitativer Vergleich zu klassischen Sensorlösungen erfolgt</p> <p>Ergebnisse in Standards als Best Practice festgehalten</p>	<p>Entwickler- und Anwenderindustrie</p> <p>Max-Planck-Gesellschaft</p> <p>Fraunhofer-Gesellschaft</p> <p>Helmholtz-Gemeinschaft</p> <p>Hochschulen</p> <p>Ressortforschung (PTB)</p>	QT-QS4

Ziel 3: Quantenkommunikation

In der Quantenkommunikation werden wir das Innovationsökosystem stärken und weiter ausbauen – dabei sollen die Perspektiven der Endanwender stärker Eingang finden.

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Nachfolgend Ansatzpunkte bzw. erste Beispiele für		Meilen-stein-nummer	
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner		
Inbetriebnahme des zweiten QUBE-Forschungs-satelliten	2026	Zweiter QUBE-Forschungs-satellit zur Quanten-kommunikation öffentlich-keitswirksam in Betrieb genommen.	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestalten sind.	Erfolgreiche Inbetriebnahme; Know-how aus QUBE steht dem Innovationsökosystem der Quantenkommunikation zur Verfügung.	BMFTR QUBE-Initiative	QT-QK1
Abschluss der QuNET-Initiative	2026	QuNET-Initiative – deutscher Forschungsbeitrag für die EuroQCI (europäische Initiative zum Aufbau einer europaweiten Quanten-kommunikationsinfra-struktur) – erfolgreich abschließen; Integration des QuNET-Beitrags in die Zukunft des Innovations-ökosystems der Quanten-kommunikation.	Abschlussveranstaltung ist durchgeführt (erfolgreiche Technologiedemonstration im Schlüsselexperiment). Ausstrahleffekte in europäische Initiative nachgewiesen	Abschlussveranstaltung ist durchgeführt (erfolgreiche Technologiedemonstration im Schlüsselexperiment). Ausstrahleffekte in europäische Initiative nachgewiesen	BMFTR QuNET-Konsortium	QT-QK2
Innovative Vernetzungs-plattform für den Technologietransfer der Quanten-kommunikation innerhalb Deutschlands gestartet	2027	Innovative Vernetzungs-plattform führt die Community zusammen; Synergien werden gehoben.	Communitygetriebenes, neues Vernetzungsformat unter Einbeziehung der Endanwender-Perspektiven ist erfolgreich gestartet.	Communitygetriebenes, neues Vernetzungsformat unter Einbeziehung der Endanwender-Perspektiven ist erfolgreich gestartet.	BMFTR wettbewerblich bestimmt	QT-QK3
Nachwuchsgruppen für die Innovations-pipeline unterstützt	2028	Innovationspipeline gefüllt halten: Unterstützung von Nachwuchsgruppen durch zweite Grand Challenge der Quantenkommunikation (GCQK II).	Erweiterung des Innovations-ökosystems für Quanten-kommunikation um innovative Nachwuchsgruppenbeiträge im Wettbewerbsformat	Erweiterung des Innovations-ökosystems für Quanten-kommunikation um innovative Nachwuchsgruppenbeiträge im Wettbewerbsformat	BMFTR wettbewerblich bestimmt	QT-QK4
Schlüsselemente für langreichweitige terrestrische Quantenkommuni-kation realisiert	2028	Erste Technologiedemon-stration eines Quanten-repeaters (QR) öffentlich-keitswirksam vorgestellt.	Demonstration ist erfolgreich durchgeführt und QR steht somit dem Innovationsökosystem der Quantenkommunikation zur Verfügung.	Demonstration ist erfolgreich durchgeführt und QR steht somit dem Innovationsökosystem der Quantenkommunikation zur Verfügung.	BMFTR QR.N-Konsortium, anschließend wettbewerblich bestimmt	QT-QK5
Quanteninformati-onsnetze in Deutschland etabliert	2030	Quanteninformati-onsnetze werden mit Fokus auf künftige Use Cases sowie im Schulterschluss mit Partnern in der EU und internationalen Wertepartnern erforscht. Ergebnisse werden in europäische und inter-nationale Standardisierung eingespeist.	Technologiedemonstrationen anhand von Use Cases für wichtige Ausstrahleffekte vorgestellt; Zusätzliche europäische bzw. werteorientierte internationale Kooperationen etabliert	Technologiedemonstrationen anhand von Use Cases für wichtige Ausstrahleffekte vorgestellt; Zusätzliche europäische bzw. werteorientierte internationale Kooperationen etabliert	BMFTR offen	QT-QK6

Ziel 4: Fachkräfte

Wir stärken die Fachkräftebasis in den Quantentechnologien.

Meilensteintitel	Zeit-horizont	Beschreibung	Nachfolgend Ansatzpunkte bzw. erste Beispiele für		Meilen-stein-nummer
			Indikatoren und Zielmarken	Umsetzungspartner	
Quanten-Nach-wuchsnetzwerk etabliert	2028	Mindestens 300 Teilneh-men-de am Quantum Future-Programm sind Teil des Nachwuchsnetzwerks geworden. Dabei wird eine paritätische Besetzung angestrebt.	Wirkungsmessung und Akteursmobilisierung sind zentrale Elemente von Roadmap-Prozessen (siehe auch Hintergrund Technologie-Roadmaps), die in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestaltet sind. Anzahl Teilnehmende am Quantum Future-Programm (Akademie, Award, Alumni-Veranstaltung) Frauenanteil (Zielmarke: 40 %)	BMFTR	QT-HR1
Aus- und Weiter-bildungskonzepte entlang der Lebensbiografie zukünftiger Fachkräfte geschaffen	2029	Maßnahmen entlang der Lebensbiografie zukünftiger Quantentechnologie-Fachkräfte geschaffen und darin Bildungskonzepte erarbeitet und realisiert, z. B. für interdisziplinäre System-ingenieure für Soft- und Hardware.	Bildungskonzepte sind fertig entwickelt und reale Umsetzung gestartet.	Netzwerk- und Bildungs-einrichtungen	QT-HR2
Neue Lehrstühle für Nachwuchswissenschaftler/ Nachwuchswissenschaftlerinnen und zur Stärkung der Fachkräftebasis geschaffen	2030	25 neue Lehrstühle für Quantentechnologien an deutschen Hochschulen, um Nachwuchswissenschaftler/ Nachwuchswissenschaftlerinnen zu unterstützen. Deutscher Forschungs-lehrstuhl (DAAD, AvH) am African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), Kapstadt, in Kooperation mit Dahlem Center for Complex Quantum Systems aufgebaut.	Anzahl geschaffener Lehrstühle	Hochschulen und Landesministerien, BMFTR	QT-HR3

Maßnahmenpakete von Bund und Ländern

Für die Erreichung der Meilensteine der Technologie-Roadmap und damit der Ziele der Hightech Agenda Deutschland ist eine gemeinsame Kraftanstrengung aller relevanten Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, dem Bund und den Ländern nötig. Ausgewählte (Flaggschiff-)Maßnahmen von Bund und Ländern, die direkt auf die Erreichung der Meilensteine einzahlen, sind in den folgenden Maßnahmenpaketen dargestellt.¹

Quantencomputing Competition und Transferhubs

[Relevante Meilensteine: QT-QC1-8]

Maßnahmen zum Aufbau von mindestens zwei fehlertoleranten Quantencomputern und zur Stärkung des Ökosystems zur Anwendung von QC in industrie-relevanten Use Cases. Bundesmaßnahmen werden insbesondere im Bereich des Softwarestacks und der Anwendungen von diversen Landesmaßnahmen flankiert: BB, BE, BW, BY, HE, HH, NI, NW, RP, SH, SL, SN, TH.

Pilotlinien Chips JU *[Relevante Meilensteine: QT-QC5]*

Insgesamt werden innerhalb des Chips Joint Undertaking sechs europäische Pilotlinien aufgebaut für die Fertigung von Quantenchips. Diese werden Technologieanbietern zur Verfügung gestellt.

Verzahnung der HTAD mit dem Quantum Act auf Basis eines zuvor vom BMFTR erstellten Positionspapiers

[Relevante Meilensteine: Alle]

Vernetzung zu einer gesamteuropäischen Förderlandschaft bis zu einem möglichen Joint Undertaking.

Transferzentren für Quantensensoren und Quantensensorik-Challenge *[Relevante Meilensteine: QT-QS1-4]*

Maßnahmen zur Etablierung von Quantensensoranwendungen insbesondere im Industry-on-Campus-Modell. Um eine erfolgreiche Kommerzialisierung und den direkten Übergang in den privaten Finanzierungskreislauf zu ermöglichen, sollen in Kooperation mit der SPRIND die ersten zwei der drei Entwicklungs-

phasen durchgeführt werden: Technologie-Exploration, Anwendung und Skalierung.

Bundesmaßnahmen werden von diversen Landesmaßnahmen flankiert: BE, BW, BY, MV, NI, NW, SH, SN, TH.

Forschung und Technologietransfer für das QK-Innovationsökosystem in Deutschland *[Relevante Meilensteine: QT-QK1-5]*

Bundesmaßnahmen: QUBE-, QuNET- und QR.N-Initiative, Dachprojekt Transfer und Netzintegration der QK, neue Maßnahmen für die QK-Innovationspipeline: z. B. Grand Challenge der QK II.

Verzahnung des deutschen QK-Innovationsökosystems in Europa und mit internationalen Wertepartnern

[Relevante Meilensteine: QT-QK5/6]

Bundesmaßnahmen: Initiativen zur europaweiten und internationalen Vernetzung der QK-Forschung in Deutschland, Forschung und Technologietransfer auf dem Weg zum Quanteninternet – in Deutschland, in Europa und mit internationalen Wertepartnern.

Quantum Future Professionals *[Relevante Meilensteine: QT-HR1/2]*

Förderung von Formaten zur Aus- und Weiterbildung entlang der gesamten Erwerbsbiografie.

Bundesmaßnahmen werden von diversen Landesmaßnahmen flankiert: BW, BY, NW, TH.

Technologische Grundlagen- und Hardwarekompetenz ausbauen *[Relevante Meilensteine: QT-QC1/3]*

Maßnahmen zu den technologischen Grundlagen wie Quantenmaterialien und Basistechnologien (u. a. Photonik) sowie Schaffung von benötigter Forschungsinfrastruktur. Bundesmaßnahmen werden von diversen Landesmaßnahmen flankiert: BB, BE, BW, BY, HH, NI, NW, SH, SL, SN, TH.

¹ Alle in dieser Roadmap genannten oder sich daraus ergebenden Maßnahmen des Bundes stehen unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel und unter dem Vorbehalt der finanzverfassungsrechtlichen Zuständigkeit des Bundes.

Stärkung von Transfer und Innovationsökosystem*[Relevante Meilensteine: QT-QC4]*

Maßnahmen zur Stärkung von Start-ups und zum Transfer von Technologiekonzepten aus der Wissenschaft in wirtschaftliche Anwendungen für Quantencomputing und Quantensensorik.

Bundesmaßnahmen werden von diversen Landesmaßnahmen flankiert: BE, BW, BY, HH, MV, NI, NW, SN, TH, HH, NI, BY, MV.

Normung und Standardisierung in den Quanten-**technologien stärken** *[Relevante Meilensteine: QT-QC8, QT-QS4, QT-QK6]*

Stärkere Beteiligung deutscher Akteure an nationalen, europäischen und internationalen Normungs- und Standardisierungsprozessen.

Einordnung der Technologie-Roadmap

Quantentechnologien als aufstrebende Schlüsseltechnologie stehen im Fokus eines internationalen Wettstreits um Technologieführerschaft. Das wirtschaftliche Potenzial ist enorm: Weltweit wird die Wertschöpfung durch Quantentechnologien bis 2035 auf rund 97 Mrd. US-Dollar geschätzt (Quelle: McKinsey Quantum Technology Monitor 2024). Der globale Wettbewerb ist intensiv: Die staatlichen Investitionen belaufen sich weltweit auf über 40 Mrd. US-Dollar (Quelle: WEF 2024 Quantum Economy Blueprint), dazu kommen noch substantielle private Investitionen, angeführt von börsennotierten US-amerikanischen Unternehmen.

Unser Ziel ist es, Deutschland zu einem weltweit führenden Standort für die Entwicklung und Anwendung von Quantentechnologien zu machen – von der exzellenten Forschung über die industrielle Systemintegration bis hin zur breiten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Nutzung. Wir schaffen die technologische Grundlage für die Wertschöpfung der nächsten Dekade und sichern Deutschlands Souveränität in diesem strategischen Technologiefeld.

Vor diesem Hintergrund wollen wir im Rahmen der Hightech Agenda Deutschland (HTAD) und dieser Roadmap folgendes erreichen:

- **Quantencomputing – vom Rechner zum Ökosystem:** Auf dem Weg zur Erreichung des Ziels, bis 2030 zwei fehlerkorrigierte Quantencomputer zu realisieren, schaffen wir durch einen missionsgetriebenen Wettbewerb und den Aufbau von Pilotlinien gezielt Grundlagen, deutsche Unternehmen zu international wettbewerbsfähigen Systemintegratoren für Quantencomputer zu entwickeln. Gleichzeitig treiben wir die Entwicklung des gesamten Softwarestacks voran und schaffen durch den frühen Zugang zu realer Hardware die Voraussetzung, um konkrete Anwendungsfälle zu erproben, Deutschlands Unternehmen einen Wettbewerbsvorteil zu sichern und weltweite Technologiestandards zu setzen. Der Softwarestack wird auf einer konsistenten, modularen und offenen Referenzarchitektur mit einheitlichen, standardisierten Schnittstellen beruhen, die die Innovationsdynamik im Quantencomputing weiter erhöhen wird.
- **Quantensensorik – vom Labor in die breite Anwendung:** Das Ziel, Krankheiten früher zu erkennen und Therapien zu personalisieren, wird durch einen klaren Transfermechanismus untermauert: Wir etablieren dezidierte Transferzentren, um Innovationen systematisch in die Anwendung zu bringen. Über die Medizin hinaus fokussieren wir

uns auf weitere hochinnovative Anwendungsfelder für Deutschland, wie die Prozessüberwachung, Qualitätssicherung und Materialanalyse in der industriellen Produktion, Geodäsie/Satellitenavigation und Mobilität.

- **Quantenkommunikation – vom nationalen Innovationsökosystem zur internationalen Vernetzung:** Die Stärkung des Innovationsökosystems wird durch die Förderung konkreter Demonstratoren greifbar gemacht. Initiativen wie QuNET, QUBE und QR.N sind zentrale Bausteine, mit denen die internationale Kooperation für die Bereitstellung der technologischen Grundlagen künftiger Quanteninformationsnetze und eines künftigen Quanteninternets vorangetrieben wird.
- **Fachkräfte – von der Absicht zur messbaren Umsetzung:** Die Stärkung der Fachkräftebasis wird durch quantifizierbare Ziele untermauert. Wir streben die Schaffung von 25 neuen Lehrstühlen für Quantentechnologien an deutschen Hochschulen bis 2030 an und bauen Programme wie „Quantum Future Professionals“ gezielt aus, um die nächste Generation von Expertinnen und Experten interdisziplinär auszubilden.

Die Umsetzung dieser Ziele wirkt sich unmittelbar positiv auf das Leben der Menschen aus. Quantencomputer beschleunigen die Entwicklung neuer Medikamente, während Quantensensoren eine

präzisere, schonendere und genauere Diagnostik ermöglichen, so z. B. bei der medizinischen Bildgebung. Quantenkommunikation stellt einen technologischen Schlüsselbaustein für die Cybersicherheit im Quantenzeitalter dar. Beispielsweise kann Quantum Key Distribution (QKD) die Post-Quanten-Kryptographie (PQK) bei der Absicherung von Datenübertragung und Kommunikation komplementär ergänzen. So werden sensible Daten vor zukünftigen Bedrohungen geschützt. Die Quantenkommunikation ist auch die technologische Grundlage für die sichere und interoperable Vernetzung von Quantenobjekten und ein zukünftiges Quanteninternet. Quantentechnologien ermöglichen z. B. die Entwicklung neuer Materialien für leistungsfähigere Batterien, energiearme Verfahren für die Herstellung von Düngemitteln, GPS-unabhängige Navigation, die gegen feindliche Angriffe sicher ist, den Nachweis von Spurenelementen zum Schutz der Bevölkerung und Wohlergehen künftiger Generationen und die Optimierung komplexer Energie- und Logistiknetze.

Durch den Aufbau einer eigenständigen Quantenindustrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette und einem interoperablen Ökosystem sichern wir nicht nur hochwertige Arbeitsplätze, sondern auch die technologische Handlungsfähigkeit Deutschlands und Europas. Dies reduziert kritische Abhängigkeiten und stellt sicher, dass die Wertschöpfung mit dieser Schlüsseltechnologie in Deutschland geschieht.

Hintergrund Technologie-Roadmaps der HTAD

Die Technologie-Roadmaps der HTAD stellen eine zentrale Frage in den Mittelpunkt: Was soll konkret erreicht werden, um in der jeweiligen Schlüsseltechnologie die Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit und technologische Souveränität in Deutschland zu steigern? Die Technologie-Roadmaps bilden damit das strategische Herzstück für die weitere Umsetzung der HTAD. Ihr Erfolg hängt maßgeblich vom effizienten Zusammenwirken von Bund, Ländern, Wirtschaft und Wissenschaft ab. Bei den vorliegenden Roadmaps handelt es sich um eine erste integrierte Fassung. Sie sind als „lebender Prozess“ zu verstehen, der sich in den kommenden Jahren sukzessive weiterentwickelt.

Outcome-Perspektive statt Input-Logik: Mit dem Roadmap-Ansatz wird die Outcome-Perspektive klar ins Zentrum der Forschungs- und Innovationspolitik gestellt. Anstatt von Aktivitäten und Programmen ausgehend zu fragen, was diese bewirken könnten, beginnt die innovationspolitische Planung mit dem angestrebten Ergebnis und leitet daraus ab, welche Instrumente und Maßnahmen es braucht, um dieses zu erreichen.

Meilensteine als strukturierendes Element: Die Meilensteine der Technologie-Roadmaps operationalisieren die in der HTAD angelegten Ziele in konkrete und nachverfolgbare Ergebnisse, ggf. verknüpft mit verschiedenen Szenarien abhängig vom Erreichen eines Meilensteins sowie externer Entwicklungen. Sie ermöglichen eine transparente Kommunikation gewählter Schwerpunkte, ein nachvollziehbares Monitoring des Fortschritts und gezieltes Nachsteuern. Das Erreichen der Meilensteine ist gemeinsame Aufgabe aller relevanten Akteure – es setzt voraus, dass Wirtschaft, Wissenschaft, Bund und Länder eigene Beiträge einbringen und Verantwortung übernehmen. Die Meilensteine dienen somit allen Partnern als gemeinsamer Kompass: Sie geben die Richtung vor, lassen aber Raum für unterschiedliche Wege und Beiträge auf dem Weg zur Zielerreichung.

Verbindung zu Flaggschiff-Maßnahmen und Förderinstrumenten: Die Meilensteine der Technologie-Roadmaps bilden auch den Ausgangspunkt der Förderplanung des Bundes zugunsten der priorisierten Schlüsseltechnologien. Die Flaggschiff-Maßnahmen der HTAD bilden den Umsetzungsrahmen, mit dem der Bund den Fortschritt der Meilensteine und Roadmaps gezielt fördert. Ausgestaltet werden die Flaggschiffe durch konkrete, passfähige Fördermaßnahmen – z. B. Wettbewerbe, Konsortienförderungen, Infrastrukturinvestitionen. Ein Meilenstein wird häufig durch mehrere Fördermaßnahmen adressiert, zugleich kann sich eine Maßnahme auf mehrere Meilensteine gleichzeitig auswirken.

Umsetzungsverantwortung und Partnerschaft: Aufgrund ihrer Outcome-Perspektive sind die Technologie-Roadmaps als partnerschaftliche Gemeinschaftsaufgabe von Bund, Ländern, Wirtschaft und Wissenschaft zu verstehen. Initiativen und Maßnahmen unterschiedlicher Partner sind unverzichtbar für das Erreichen der Meilensteine und damit für den Erfolg der Roadmaps. Ein zentrales Element der Technologie-Roadmaps sind daher Dialogprozesse, in denen sich die Beteiligten über den Stand der Roadmaps und geeignete Maßnahmen aller Partner kontinuierlich verständigen. Eine erste Phase solcher Dialoge zwischen Bund, Ländern und Umsetzungspartnern aus Wissenschaft und Wirtschaft fand in Vorbereitung auf die vorliegenden Roadmaps im Frühjahr 2026 statt. Weitere werden folgen.

Hebel für die Technologie-Roadmap

Mit dem Anspruch, Deutschland in den Quantentechnologien international in einer Spitzenposition zu etablieren, technologische Souveränität zu sichern und konkrete Anwendungen zu realisieren, wurden gemeinsam Meilensteine in Quantencomputing, Quantensensorik und Quantenkommunikation formuliert. Um diese zu erreichen, müssen gezielt zentrale Hebel eingesetzt werden. Nur so werden die Stärken des deutschen Ökosystems strategisch genutzt und bestehende Schwächen systematisch adressiert. Zentrale Themenfelder sind dabei insbesondere Ankerkundenkäufe und Verbundforschung als Motor für Transfer und Finanzierung, europäische Rahmensetzung und internationale Kooperation, Materialien, Infrastruktur und Enabling Technologies als Souveränitätskern sowie Fachkräfte als durchgehende Voraussetzung für Wertschöpfung in den Quantentechnologien.

Quantencomputing, Quantensensorik und Quantenkommunikation sind kapitalintensive Deeptech-Felder mit langen Entwicklungszyklen und hohem Technologierisiko. Klassische Frühphasenfinanzierung von jungen Unternehmen reicht hier häufig nicht aus. Wir setzen deshalb auf gezielte Unterstützungsmaßnahmen: **Ankerkundenkäufe des öffentlichen Sektors als zentrales Finanzierungs- und Skalierungsinstrument** für Start-ups und junge Technologieunternehmen. So werden durch den gezielten Erwerb bzw. die gezielte Förderung von Quantenprototypen und -systemen, etwa Quantencomputer in HPC-Zentren oder Anwendungszentren mit Cloudanbindung, Quantensensorik-Demonstratoren in der Medizin oder Teststrecken für Quantenkommunikation, verlässliche Erstumsätze generiert. Dies schafft Referenzen und hebt private Investitionen.

Parallel wird der **Transfer hervorragender Konzepte** aus der Wissenschaft in die Industrie durch gemeinschaftliche Forschungsprojekte gefördert, da viele technologische Hürden in dieser Gemeinschaft am besten bewältigt werden können. Hardware, Software und anwendungsbezogenes Know-how werden frühzeitig zusammengeführt, standardisiert und so der

Übergang von der akademischen Forschung in industrielle Wertschöpfung in allen drei Säulen systematisch beschleunigt.

Quantentechnologien sind zudem ein strategisches Feld, in dem **Europa im Verbund seiner Mitgliedstaaten technologischen Führungsanspruch, Wertschöpfung und Souveränität** anstrebt. Europa kann hier nur zusammen Erfolg haben. Deutschland wird daher eine aktive Rolle bei der Ausgestaltung des EU Quantum Acts und der nachgelagerten Governance-Strukturen einnehmen – sowohl inhaltlich (Prioritäten, Standards, Sicherheitsanforderungen) als auch mit Blick auf die Einbettung deutscher Pilotlinien, Testzentren und Innovationsökosysteme in europäische Programme. Unser Ziel ist es, dass deutsche Stärken im Quantencomputing, in der Sensorik und in der Quantenkommunikation sichtbar verankert werden, unter anderem in Standards zum Quantum Act, und deutsche Akteure frühzeitig Zugang zu europäischen Standardisierungs-, Förder- und Beschaffungsstrukturen erhalten. Ergänzend dazu werden bi- und multilaterale Kooperationen mit ausgewählten Wertepartnern (z. B. Frankreich, Niederlande, Kanada, UK, weitere G7-Staaten) genutzt, um komplementäre Stärken zu bündeln. Gerade in den Quantentechnologien verringern solche Partnerschaften technologische und geopolitische Abhängigkeiten und stärken die Resilienz der gesamten Wertschöpfungskette.

Die industrielle Stärke Deutschlands bei Hochtechnologien liegt insbesondere in exzellenter **Materialforschung, Spezialausrüstung und Enabling Technologies**. Für die Quantentechnologien werden wir diese Stärken gezielt ausbauen: Reinräume, Pilotlinien und Testinfrastrukturen für Quantenchips, kryogene Technologie, Vakuumtechnik und Hochpräzisionselektronik werden als infrastrukturelle Basis gefördert und als Plattformen für Forschung und Unternehmen zugänglich gemacht.

Im Zentrum steht die **Photonik als Schlüsseltechnologie für Quantencomputing und Quantenkommunikation**: Lasersysteme zur Kontrolle von Qubits, photonische Schaltkreise, Detektoren, Quellen und optische Komponenten bilden das Rückgrat vieler Quantenplattformen. Deutschland verfügt hier über eine starke industrielle und wissenschaftliche Basis. Wir werden diese Position durch gezielte Maßnahmen weiter stärken. Ziel ist es, entlang der **kritischen Material- und Komponentenketten** eigenständige europäische Fähigkeiten auf- und auszubauen, Abhängigkeiten zu reduzieren und deutsche Unternehmen als Zulieferer für globale Quantenmärkte zu positionieren.

Ohne ausreichend **qualifizierte Fachkräfte** in Physik, Ingenieurwissenschaften, Informatik, Photonik, Materialwissenschaften und Systemintegration kann keine der drei Säulen (Quantencomputing, Quantensensorik, Quantenkommunikation) ihre Potenziale entfalten. Wir legen daher besonderen Wert auf eine durchgängige Fachkräftestrategie, die entlang der gesamten Bildungs- und Erwerbsbiografie ansetzt. Dazu gehören neue Professuren und Lehrstühle für Quantentechnologien, interdisziplinäre Studien- und Weiterbildungsprogramme (z. B. Systemingenieurinnen und -ingenieure für Hard- und Software), Nachwuchsgruppen und Graduiertenprogramme ebenso wie auf Quanten ausgerichtete Berufsqualifikationen in relevanten technischen Berufen. International ausgerichtete Programme und erleichterte Zuwanderungsmöglichkeiten sollen zusätzlich internationale Talente nach Deutschland holen und langfristig binden. Unser Anspruch ist es, Deutschland als einen

der attraktivsten Ausbildungs- und Arbeitsorte für Quantenexpertinnen und -experten zu etablieren und gleichzeitig die Kompetenzen in der Breite – bei Anwendern in Industrie, Medizin, Verwaltung und Sicherheitsbehörden – so aufzubauen, dass die entwickelten Quantenlösungen tatsächlich in Produkte, Dienstleistungen und bessere Lebensqualität für die Bevölkerung übersetzt werden.

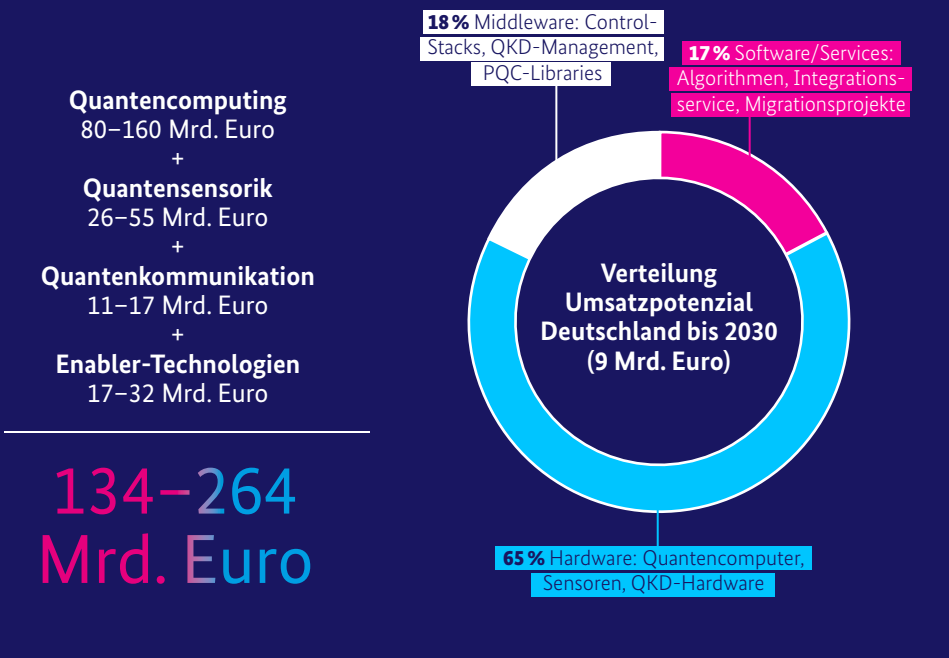
Normung und Standardisierung sind ein zentraler Hebel, um Quantentechnologien aus Forschung und Demonstration in verlässliche, anschlussfähige und international wettbewerbsfähige Anwendungen zu überführen. Sie schaffen gemeinsame Begriffe, Schnittstellen, Qualitätsmaßstäbe, Prüf- und Evaluierungsgrundlagen und erleichtern dadurch Interoperabilität, Vergleichbarkeit und Investitionssicherheit. Gerade in einem jungen Technologiefeld wie den Quantentechnologien ist die frühzeitige Mitgestaltung relevanter Standards ein strategischer Faktor für Wertschöpfung, Souveränität und Sichtbarkeit im internationalen Wettbewerb.

Standardisierungspfade sollen daher stärker mit Forschungs-, Transfer- und Skalierungsinstrumenten verzahnt werden. KMU und Start-ups sollen gezielt dabei unterstützt werden, sich frühzeitig an relevanten Normungs- und Standardisierungsvorhaben zu beteiligen. Wo sinnvoll, sollen technologiebezogene Roadmaps künftig auch standardisierungsrelevante Entwicklungsbedarfe – etwa bei Terminologien, Schnittstellen, Benchmarks, Sicherheitsprofilen oder Prüfverfahren – systematisch sichtbar machen.

Marktpotenzial und ausgewählte Anwendungsfelder

Quantentechnologien – Quantencomputing, -sensorik und -kommunikation – nutzen Prinzipien der Quantenmechanik für überlegene Rechen-, Mess- und Kommunikationsleistung und adressieren Probleme, an denen klassische Systeme an ihre Grenzen stoßen. Das globale Marktpotenzial wird bis 2040 auf 130–260 Mrd. Euro geschätzt, mit einem vielfach höheren Umsatz in Anwenderindustrien. Anwendungsfelder umfassen Simulation, Prozessoptimierung und KI-Unterstützung. Für deutsche Unternehmen wird bis 2040 ein adressierbarer Markt von rund 15 Mrd. Euro erwartet. Während Quantensensorik und -kommunikation bereits erste Durchbrüche zeigen, steht für Quantencomputing die Demonstration eines praxisrelevanten Quantenvorteils noch aus.²

Marktpotenziale (bis 2040)³



Quantenkommunikation: Cybersicherheit im Quantenzeitalter

Quantenkommunikation ist ein technologischer Schlüsselbaustein, um unsere digitalen Infrastrukturen und Kommunikation sicherer und resilienter zu gestalten. Zudem liefert sie die Grundlage zur sicheren Vernetzung von Quantenobjekten und zukünftigem Quanteninternet.

- Zeithorizont: **mittel-, langfristige**
- TRL⁴: **1–6**
- Impact: **sehr hoch, sicherheitsrelevant**

Quantencomputing in der Pharma- und Materialforschung

Komplexe Simulationen, Wirkstoffdesign, Protein-Faltung, Katalysator- und Batteriematerialien, komplexe Prozessoptimierungen, Verkürzung von FuE-Zyklen.

- Zeithorizont: erste industriell nutzbare Anwendungen in den **2030ern**
- TRL⁴: **4–6** (Forschung bis Validierung); Demonstratoren laufen
- Impact: **sehr hoch**; neue Pharmazeutika und Materialien

Quantensensorik in der Medizintechnik

Quantensensoren nutzen quantenmechanische Effekte, um Magnetfelder, Gravitation, Zeit oder Beschleunigung mit extrem hoher Empfindlichkeit zu messen (z. B. für hochauflösende Bildgebung in der Neurologie und Kardiologie).

- Zeithorizont: **kurzfristig** (heute bis 2026); serienfähige Produkte bis 2029
- TRL⁴: **4–9** je nach Anwendung
- Impact: **sehr hoch** (z. B. Früherkennung von Krebs)

² EFI 2025 (Link), BCG/UnternehmerTUM 2026 (Link), iit 2024 (Link), McKinsey 2025 (Link). | ³ BCG/UnternehmerTUM 2026 (Link), Grand View Research 2022 (Link). | ⁴ Technology Readiness Levels (TRL) sind eine 9-stufige Skala (1-9) zur Bewertung des Reifegrads neuer Technologien.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Forschung,
Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
Stabsstelle Hightech Agenda Deutschland
11055 Berlin

Stand

Mai 2026

Text

BMFTR

Gestaltung und Druck

BMFTR

Bildnachweis

Titel: neues handeln AG

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

 @bmftr_bund

 @bmftr_bund

 @bmftr.de

 @bmftr_bund

 @Bundesministerium für
Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Zukunft made in Germany.

Die Hightech Agenda Deutschland ist die neue Innovationsoffensive der Bundesregierung. Für mehr Wettbewerbsfähigkeit, Wertschöpfung und Souveränität durch Forschung und neue Technologien.

Mehr zur Hightech Agenda
Deutschland und zur Roadmap
Quantentechnologien



hightech-agenda-deutschland.de

