



# Quantentechnologie Roadmap Brandenburg



# Quantentechnologie Roadmap Brandenburg

Auf dem Weg zu einer gemeinsamen QT-Zukunft  
in der Hauptstadtregion



# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Unsere gemeinsame Mission</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Quantentechnologie: Schlüsseltechnologie der Zukunft</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Quantentechnologien in Brandenburg</b> .....	<b>9</b>
<b>4 Phasen zum Aufbau des Brandenburger Quantentechnologie- Netzwerks</b> .....	<b>11</b>
<b>5 Roadmap des Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerks</b> .....	<b>16</b>
5.1 Übergeordnete Ziele .....	16
5.2 Besonderheiten und Positionierung der Region (Fokus: Hauptstadtregion) .....	16
5.3 Chancen und Potenziale der Region .....	18
5.4 Gemeinsame Themen der Anwendungsfelder .....	18
<b>6 Profilbögen: Kompetenzen der Akteure</b> .....	<b>23</b>
<b>7 Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>27</b>
<b>8 Anhang</b> .....	<b>28</b>
8.1 SWOT-Analyse .....	28
8.2 Ziele und Aktivitäten zur Umsetzung .....	28
<b>Impressum</b> .....	<b>30</b>



## Vorwort

Quantentechnologien der zweiten Generation – die technologische Nutzung von Quanteneffekten in den Bereichen Sensorik, Kommunikation, Computing, Materialien – werden unser Leben durch neue Erkenntnisse, Produkte und Dienstleistungen nachhaltig und revolutionär verändern. Quanteneffekte bilden die Grundlage für moderne Techniken wie z. B. Mikrochips, Laser oder Satellitennavigation. Sie sind Impulsgeber für Innovationen sowohl in der Grundlagenforschung als auch in einer Vielzahl von Anwenderbranchen wie beispielsweise in der Gesundheitswirtschaft, Mobilität, Logistik, Batterieforschung oder im Finanzwesen. Ihr Potenzial wird von Experten und Expertinnen als disruptiv und wegweisend für die Gesellschaft, bestehende Märkte, die Wissenschaft und die Wirtschaft bewertet.

Sichere Kommunikation, eine schnellere Datenverarbeitung, disruptives Computing und neuartige Sensoren sind nur einige Beispiele für die enorme Leistungsfähigkeit dieser Schlüsseltechnologie.

Die Hauptstadtregion verfügt über eine große Anzahl wissenschaftlicher Einrichtungen, die aufgrund ihrer Exzellenz in der Photonik, dem Computing und der Mikroelektronik national und international anerkannt sind.

Unternehmen adressieren schon heute mit ihren Produkten Weltmärkte.<sup>1</sup> In dem bereits im Jahr 2019 veröffentlichten Masterplan des Clusters Optik und Photonik Berlin Brandenburg<sup>2</sup> wurde Quantentechnologie als Schwerpunktthema identifiziert und in den Fokus der Aktivitäten gerückt. Im Dialog mit den an dieser Roadmap beteiligten Akteuren aus Brandenburg wurde in den vergangenen Jahren deutlich, dass vor allem durch das Zusammenspiel unterschiedlicher Disziplinen Innovationen in allen Themenfeldern der Quantentechnologie gehoben und vorangetrieben werden. Ein erfolgreicher Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Wirtschaft ist dabei von entscheidender Bedeutung.

Brandenburger Akteure aus der Wissenschaft entwickeln seit vielen Jahren in Forschungs- und Entwicklungsprojekten unabhängig voneinander neue Lösungen für Quantentechnologien. Jedoch wurden ihre Kompetenzen noch nicht zusammengeführt und national sowie international sichtbar gemacht. 2021 gab die Förderzusage für das Center for Quantum Technology and Applications (CQTA) am DESY in Zeuthen den entscheidenden Impuls, dies zu ändern. Durch die neue Verbindung des CQTA mit dem Cluster Optik und Photonik wurden nicht nur Ressourcen gebündelt, sondern es bietet sich nun die einzigartige Gelegenheit, alle Akteure im Bereich der Quantentechnologien in Brandenburg und darüber hinaus zu einem innovativen Netzwerk zusammenzuführen. Dieses Netzwerk wird durch Offenheit, Integration und die treibende Kraft der Akteure gekennzeichnet sein.

Die vorliegende Roadmap gibt einen aktuellen Überblick über die beteiligten Brandenburger Akteure und gemeinsame Ziele, Aktivitäten und Forschungsthemen, die das Brandenburger Netzwerk bereits erfolgreich umgesetzt hat bzw. zukünftig umsetzen wird. Sie zeigt die Stärken und Chancen auf, die sich aus Quantentechnologie ergeben können, und benennt Ziele, die zusammen erreicht werden sollen.

Herzlichst

Ihre Anne Techen und Ihr Karl Jansen, im April 2024

1 Wirtschaftsförderung Brandenburg (2020): Clusterreport Optik & Photonik | [https://www.optik-bb.de/files/media/publications/Flipbook\\_Clusterreport.pdf](https://www.optik-bb.de/files/media/publications/Flipbook_Clusterreport.pdf) [aufgerufen am: 28.03.2024]

2 Wirtschaftsförderung Brandenburg und Berlin Partner (2019): Masterplan Optik und Photonik | [https://www.optik-bb.de/files/media/publications/Masterplan\\_Cluster\\_Optik\\_Photonik\\_Web\\_neu\\_2020.pdf](https://www.optik-bb.de/files/media/publications/Masterplan_Cluster_Optik_Photonik_Web_neu_2020.pdf) [aufgerufen am: 28.03.2024]

# 1 Unsere gemeinsame Mission

Das Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerk wird in partnerschaftlicher und transparenter Weise mit regionalen, nationalen und internationalen Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft zusammenarbeiten, um die Hauptstadtregion als attraktiven Standort für neue Anwendungen der Quantentechnologien zu entwickeln. Durch das Zusammenführen vorhandener Kompetenzen werden Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft aktiv mitgestaltet und vorangebracht. Dies trägt dazu bei, Aktivitäten in allen Bereichen der Quantentechnologien in der Region erheblich zu erweitern.

## 2 Quantentechnologie: Schlüsseltechnologie der Zukunft

Der Markt für Quantentechnologien der zweiten Generation befindet sich weltweit noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Dies schafft jedoch die einzigartige Möglichkeit, das enorme Potenzial dieser Zukunftstechnologie für vollständig neue Produkte und Märkte langfristig auszuschöpfen. Der Transfer wissenschaftlicher Expertisen untereinander und in die Wirtschaft muss deshalb befördert werden. Zudem sollten neue Anwendungsfelder für Quantentechnologie sowie industrierelevante Lösungen erschlossen werden. Dies betrifft, als eine sicher unvollständige Liste von Anwendungsfeldern, die Chemie, Physik, Biologie, Materialforschung, Informations- und Kommunikationstechnologie, Medizin, Pharmazie, Ernährung und Landwirtschaft, Verkehr und Logistik, Energietechnik, Automotive sowie Luft- und Raumfahrt.





### 3 Quantentechnologien in Brandenburg

In allen Themengebieten der Quantentechnologie (Sensorik, Computing, Kommunikation und Materialien) sind bereits jetzt enorme wissenschaftliche Expertisen in Brandenburg vorhanden (siehe Abb. 1). Brandenburger Hochschulen, Universitäten und außeruniversitäre Einrichtungen forschen seit vielen Jahren, auch in Kooperation, in geförderten Projekten auf Bundes- und EU-Ebene zu Quantentechnologien und haben sich nationale sowie internationale Partnerschaften aufgebaut. Hierbei sind beispielhaft die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekte **QUASAR**<sup>3</sup> oder **HIQuP**<sup>4</sup> sowie der **Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus (iCampus Cottbus)**<sup>5</sup> zu nennen. Auf Landesebene wurde die Bedeutung dieser Schlüsseltechnologie erkannt und Fördermittel bereitgestellt. So wird im Rahmen des Zukunftsinvestitionsfonds des Landes Brandenburg das exzellente Projekt „**Zentrum für Quantentechnologie und Anwendungen**“ (**Center for Quantum Technology and Applications, CQTA**)<sup>6</sup> am DESY in Zeuthen mit 12,8 Millionen Euro gefördert.

- Diese Förderung stellt den Ausgangspunkt für den Aufbau eines Quantentechnologie-Netzwerks in Brandenburg dar.

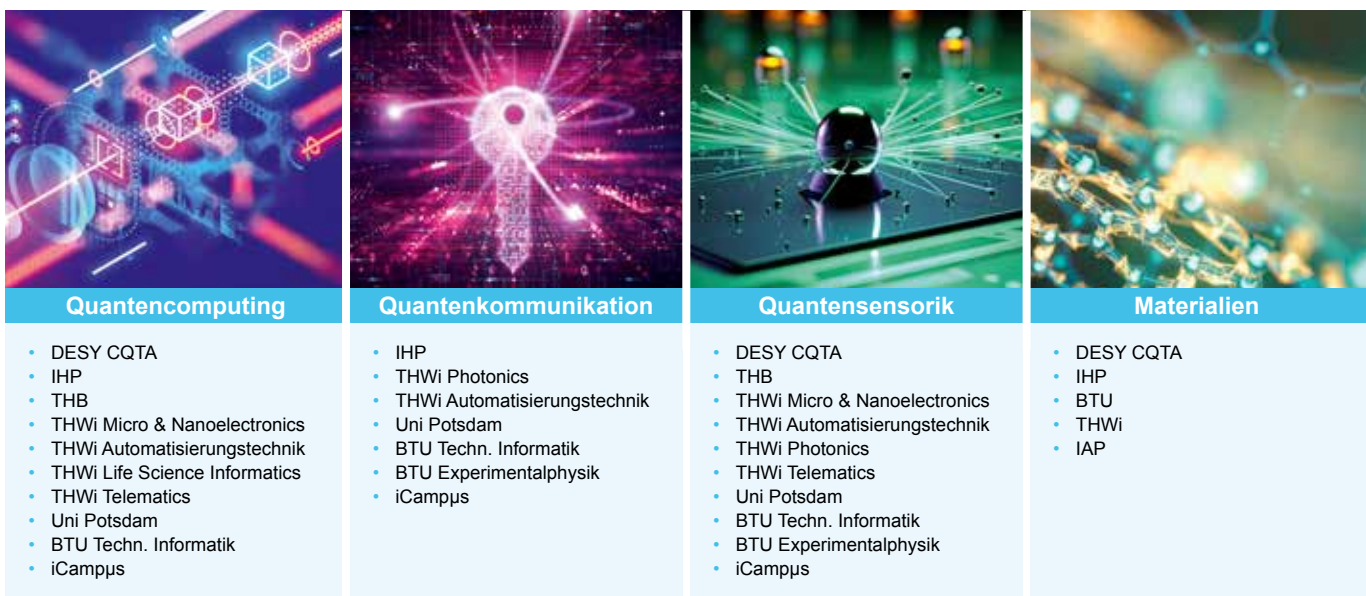


Abbildung 1: Thematische Säulen und Akteure: erste Sichtung in Brandenburg (eigene Darstellung; Stand der Recherche Mai 2024)

3 BMBF: Halbleiter-Quantenprozessor mit shuttlingbasierter skalierbarer Architektur | <https://www.quantentechnologien.de/forschung/foerderung/quantenprozessoren-und-technologien-fuer-quantencomputer/quasar.html> [aufgerufen am: 28.03.2024]

4 BMBF: Hochintegrierte und skalierbare Interfaceschaltungen für Quantenprozessoren | <https://www.quantentechnologien.de/forschung/foerderung/enabling-technologies-fuer-die-quantentechnologien/hiquip.html> [aufgerufen am: 28.03.2024]

5 <https://icampus-cottbus.de/> [aufgerufen am: 28.03.2024]

6 [https://www.desy.de/aktuelles/news\\_suche/index\\_ger.html?openDirectAnchor=2192&two\\_columns=0](https://www.desy.de/aktuelles/news_suche/index_ger.html?openDirectAnchor=2192&two_columns=0) [aufgerufen am: 28.03.2024]

Unternehmen aus der Photonik haben Quantentechnologien als neuen Markt entdeckt (u. a. DiGOS Potsdam GmbH<sup>7</sup> oder MKS | Spectra-Physics<sup>®8</sup>) und erste Startups wählten als Standort für ihr Unternehmen die Hauptstadtregion.

- Es bestehen hervorragende Ausgangsbedingungen für den Aufbau einer regionalen Quantentechnologie-Wertschöpfungskette.

Jedoch sind die Kompetenzen national und international noch nicht ausreichend sichtbar und nicht genügend vernetzt. Es besteht deshalb dringender Handlungsbedarf hinsichtlich Außenwirkung und strategischer Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen.



7 <https://digos.eu/> [aufgerufen am: 28.03.2024]

8 <https://www.spectra-physics.com/en/n/quantum-applications> [aufgerufen am: 28.03.2024]

## 4 Phasen zum Aufbau des Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerks

Gemeinsam mit dem DESY und der Technischen Hochschule Wildau (THWi) hat es sich das Clustermanagement Optik und Photonik (CM) bei der Wirtschaftsförderung Brandenburg (WFBB) zum Ziel gesetzt, Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft branchenübergreifend zusammenzubringen, um im ersten Schritt ein Quantentechnologie-Netzwerk in Brandenburg und im zweiten Schritt in der Hauptstadtregion sowie darüber hinaus aufzubauen. Die Phasen sind in Abb. 2 und die konkreten Ziele im Anhang unter Punkt 8.2 dargestellt.

**Phase 1:** Die strategische Diskussion über den Aufbau des Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerks startete Ende 2021. Im Oktober des Jahres hat das CM eine Gesprächsrunde durchgeführt, die das DESY mit dem Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) zusammenbrachte. Im Laufe des Jahres 2022 folgten drei Treffen, die zum Ziel hatten, weitere Akteure zu integrieren. So erweiterte sich der Akteurskreis um Arbeitsgruppen der THWi, Lehrstühle des Instituts für Physik an der Universität Potsdam sowie Vertreterinnen und Vertreter der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU). Darüber hinaus wurde IBM in die Gespräche eingebunden. Hintergrund war, dass das CQTA am DESY 2022 zum „IBM Quantum Innovation Center“ ernannt wurde. Gemeinsam mit dem Brandenburger Cluster Kunststoffe und Chemie wurde Ende 2022 eine virtuelle Veranstaltung zum Einsatz von Quantentechnologien in der Chemiebranche organisiert (Abb. 3).

### Roadmap des Quantentechnologie-Netzwerks

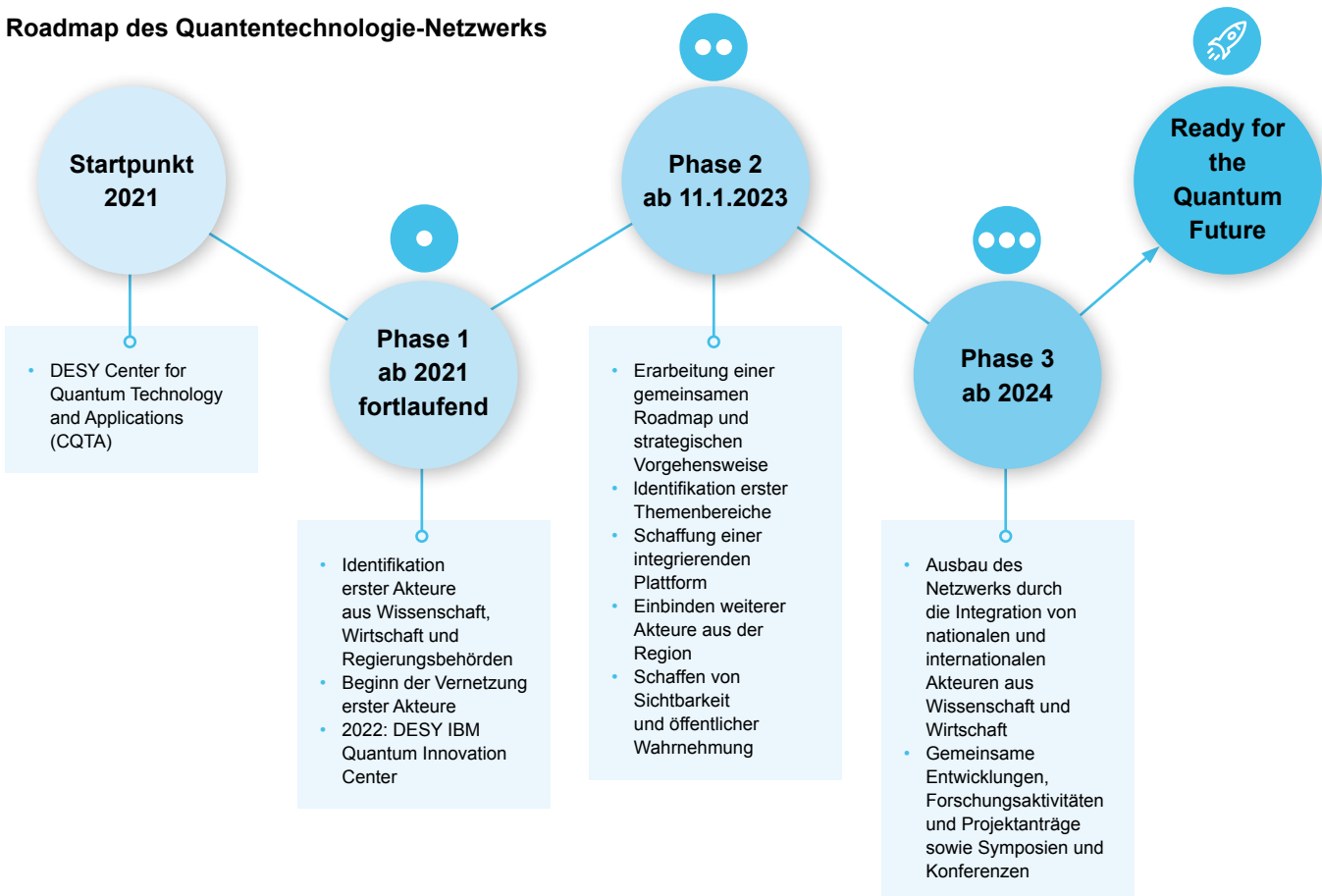


Abbildung 2: Phasen zum Aufbau des Quantentechnologie-Netzwerks für die Region

**Meilensteine und Umsetzung der Phase 1**

**Meilensteine**

- Zusammenbringen erster Akteure (Gesprächsrunden und Veranstaltungen)
- Identifizierung gemeinsamer Themen

**Umsetzung: erreicht**

**Phase 2:** Am 11.1.2023 fand unter der Leitung des DESY und des CM ein Netzwerktreffen der beteiligten Einrichtungen sowie Vertreter des Brandenburger Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur statt (siehe Abb. 4). Im Rahmen des Treffens wurde über die Brandenburger Potenziale in den Quantentechnologien (Sensorik, Computing, Materialien, Lehre) gesprochen und beschlossen, eine Brandenburger Quantentechnologie-Community aufzubauen. Die vorliegende Roadmap ist das Resultat dieses Treffens und soll dem Aufbau eines Quantentechnologie-Netzwerks dienen. Den **Lenkungskreis** stellen zurzeit das DESY, die THWi und das CM.

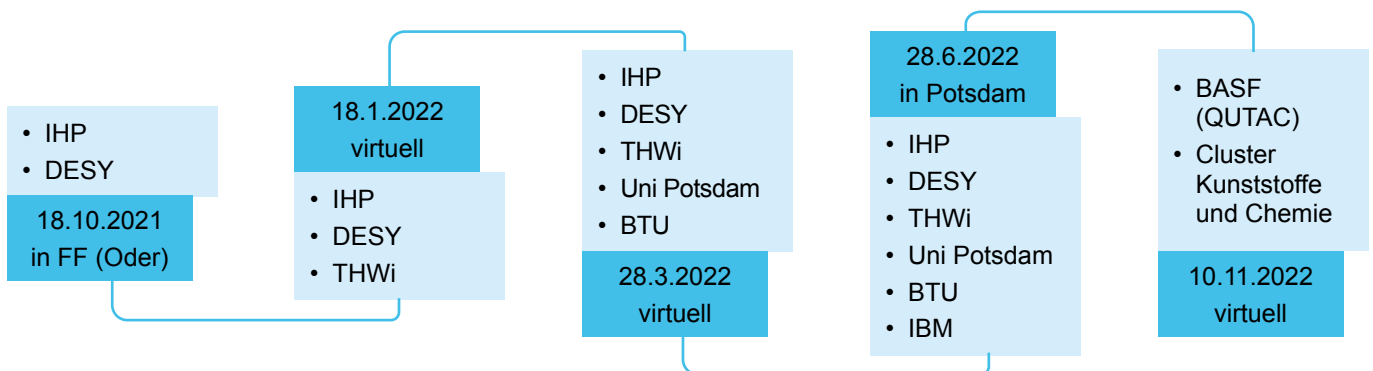


Abbildung 3: Vernetzung der Akteure in Brandenburg 2021 und 2022



Abbildung 4: Quantentechnologie-Treffen im DESY in Zeuthen am 11.1.2023 | © DESY



Die Hauptstadtregion verfügt über eine Vielzahl wissenschaftlicher Einrichtungen, die es noch stärker in den Quantentechnologie-Themenfeldern zu vernetzen gilt (siehe Abb. 5). In der Phase 2 des Netzwerkaufbaus sollen weitere regionale Partner gewonnen, Sichtbarkeit generiert und Forschungsthemen evaluiert werden.



## Meilensteine und Umsetzung der Phase 2

### Meilensteine

- Ausweitung des Netzwerks auf Anwenderbranchen und weitere Schlüsselakteure in Brandenburg und darüber hinaus
- Einbinden der regionalen Wirtschaft (branchenübergreifend)
- Initialisierung der Roadmap
- Diskussion und Finalisierung der Roadmap
- Durchführung weiterer Gesprächsrunden und Vernetzungsveranstaltungen

### Umsetzung

- Federführung zum Aufbau des Netzwerks bei DESY und CM mit den Akteuren abstimmen
- Organisation und Durchführung von Gesprächsrunden bei DESY in Zeuthen am 11.1.2023 und 10.5.2023 sowie am 13.9.2023 in Potsdam und 19.1.2024 am IHP in Frankfurt (Oder)
- Organisation und Durchführung von Veranstaltungen mit Bezug zu Quantentechnologien (z. B. LASER World of Photonics und World of QUANTUM im Juni 2023 in München, Photonics Days Berlin Brandenburg vom 9.10. bis 10.10.2023 in Berlin-Adlershof, Clusterkonferenz Optik und Photonik am 9.11.2023 in Berlin, LASER World of Photonics und World of QUANTUM 2025 in München)
- Antrag für gemeinsame Initiativen (Lehre und Forschungsthemen) in Vorbereitung
- Einführung und Etablierung eines neuen Formats „Workshop Quantentechnologie in Brandenburg“
- Adressieren der Gesellschaft, Sensibilisieren für Quantentechnologien (öffentlichkeitswirksame Aktivitäten, Interviews, Fernsehen – RBB, Radio)
- Aufbau einer LinkedIn-Gruppe „Quantentechnologien in Brandenburg“ bzw. Integration in bestehende LinkedIn-Kanäle (z. B. Photonics Cluster Berlin Brandenburg) und einer eigenen Internetpräsenz
- Versenden aktueller Informationen zur Quantentechnologie (Newsletter)
- Bedarfsanalyse: Unternehmensinterviews zur Identifizierung von Herausforderungen in den Anwenderbranchen (Luft- und Raumfahrt, Automotive, Logistik)
- Benchmarking Quantentechnologien

**Phase 3:** In Phase 3 sollen Akteure außerhalb der Region und internationale Partner für das Netzwerk gewonnen werden. Auf nationalen und internationalen Konferenzen soll aktiv für das Netzwerk geworben werden. Im Fokus stehen zudem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie die Durchführung von Symposien und Fachveranstaltungen, um Herausforderungen in Anwenderbranchen zu identifizieren. Das Themenprofil soll geschärft und eine weite Sichtbarkeit generiert werden.



## Meilensteine und Umsetzung der Phase 3

### Meilensteine

- Aufbau einer Struktur (Erweiterung des Lenkungskreises, Beirat)
- Realisierung konkreter Projekte zwischen den Akteuren
- Organisation der ersten Quantentechnologie-Konferenz der Region als jährlich wiederholendes Ereignis
- Einreichung konkreter Projektanträge
- Erreichen der nationalen und internationalen Sichtbarkeit der Quantentechnologie-Aktivitäten der Hauptstadtregion
- Etablierung einer eigenen Quantentechnologie-Marke durch den Fokus auf Anwendungen und Use Cases
- Entwicklung neuer Hardware für neue Quantensensoren/Sensortechnologien sowie Algorithmen zur Datenauswertung auf dem Quantencomputer
- Einbringen der KI-Expertisen in die Auswertung großer Datenmengen und Entwicklung von neuen Quanten-KI-Modellen

### Umsetzung

- Akquise von Landesmitteln für Quantentechnologie-Projekte
- Identifizierung geeigneter Fördermittel (Land, Bund und EU)
- Gemeinsamer Vortrag des DESY und IHP „Von der Theorie in die Praxis: Quantencomputing aus Brandenburg“ auf dem FMD Innovation Day 2024 am 25.4.2024
- Vorträge im Rahmen der iCampus Conference Cottbus (14.5. bis 16.5.2024) zu „Quantum Computing for New Technologies“ (Unternehmensvortrag von Heike Riel, IBM, Vorträge DESY CQTA, IHP, BTU) und Teilnahme an der Begleitausstellung
- 2024: Durchführung eines Formats mit dem Arbeitstitel „Quantentechnologie Week – made in Brandenburg“: Summer School IHP 2024, iCampus und DESY CQTA, Vorlesungen an der THWi
- Zugang zu Quantenhardware gewährleisten



## Zukunftsperspektive nach Phase 3

Als langfristiges Ziel wird die Etablierung eines Quantentechnologie-Netzwerks gesehen, das die Expertisen der Akteure aus Brandenburg und Berlin bündelt. Tiefer gehende Kooperationen mit wissenschaftlichen Partnern aus Berlin, insbesondere mit „Berlin Quantum“, sollen dafür auf- und ausgebaut werden. Bereits jetzt bestehende Partnerschaften, wie z. B. die des DESY mit der Einstein Research Unit und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), sollen intensiviert werden. Weiterhin sollen Anwendungsfälle mit der Industrie durchgeführt und öffentlichkeitswirksam dargestellt werden. Die Einbindung von Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus dem Cluster IKT, Medien und Kreativwirtschaft (IMK) wird als bedeutsam für die Weiterentwicklung der Kompetenzen der Hauptstadtregion und aller Quantentechnologie-Themenfelder gesehen.

Nicht nur regionale Partnerschaften sind für den Aufbau einer Quantentechnologie-Community der Hauptstadtregion essenziell. Auch der Schulterschluss mit nationalen und internationalen Akteuren wird als notwendig angesehen, um Sichtbarkeit zu generieren und Innovationen in der Quantentechnologie voranzutreiben. Hierbei sind bereits bestehende Kooperationen der Akteure, z. B. aus Polen oder Zypern, von entscheidendem Vorteil.

Das Netzwerk wird sich intensiv den Schwerpunktthemen Startups sowie Fachkräfteausbildung und -gewinnung widmen. Ziel ist, ein Aus- und Weiterbildungssystem länder-, hochschul- und forschungseinrichtungsübergreifend zu etablieren und national sowie international sichtbar zu machen. Das steigert die Attraktivität der Quantentechnologien in der Region.

Das Netzwerk strebt an, die Entwicklung von Komponenten für Hardwareplattformen mit maßgeblicher Unterstützung des IHP voranzutreiben sowie neue Quantensensoren zu erforschen und industriell anzuwenden. Zudem soll das CQTA in die Eigenständigkeit überführt werden. Eine autonom agierende Transfereinheit für die Quantentechnologie der Region würde enorme Chancen für wirtschaftliche Innovationen bedeuten.



## 5 Roadmap des Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerks

Das Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerk hat übergeordnete Ziele definiert, Alleinstellungsmerkmale sowie die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Region in den Quantentechnologien erarbeitet. Weiterhin wurden die Themen der Anwendungsfelder identifiziert und die Ziele und Aktivitäten zur Umsetzung des Netzwerks diskutiert und zusammengestellt.

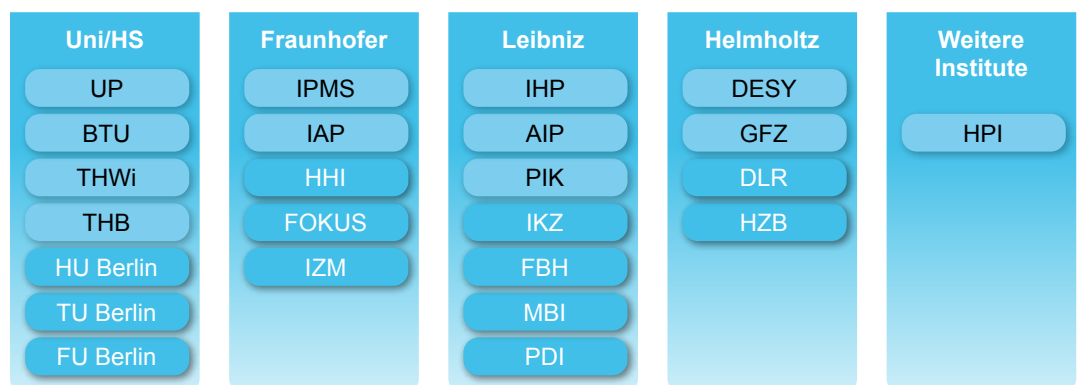
### 5.1 Übergeordnete Ziele

Das Quantentechnologie-Netzwerk in Brandenburg wird an der Umsetzung folgender Ziele arbeiten:



### 5.2 Besonderheiten und Positionierung der Region (Fokus: Hauptstadtregion)

#### Photonik und Mikroelektronik als Enabler für Quantentechnologien



Legende: Berlin Brandenburg

Abbildung 5: Überblick über wissenschaftliche Einrichtungen der Hauptstadtregion mit Bezug zu Quantentechnologien



Die Hauptstadtregion zeichnet sich durch eine exzellente Forschungslandschaft (Technische Hochschulen, Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen) in den Hochtechnologien bzw. „key enabling technologies“ aus. Durch die angemessene Verteilung der außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit komplementären Ausrichtungen besteht eine konstruktive Konkurrenz (siehe auch SWOT-Analyse im Anhang).

Im Cluster Optik und Photonik haben sich Veranstaltungsformate (Optik-Tag, Clusterkonferenz, Photonics Days Berlin Brandenburg) etabliert, die der Vernetzung und der nationalen sowie internationalen Sichtbarkeit dienen.

Die Experten und Expertinnen der Brandenburger Hochschulen forschen nicht nur exzellent auf dem Gebiet des Quanten- und neuromorphen Rechnens. Sie betreiben auch KI- sowie Quantentechnologie-Forschung auf höchstem Niveau (z.B. die BTU, THWi). Als weltweit führendes Zentrum für Siliziumphotonik weist das IHP Expertise in der Herstellung photonisch integrierter Schaltkreise auf. Es realisiert neue Quantensensoren und evaluiert Hardware für Quantencomputing. Das DESY CQTA entwickelt Anwendungen und Algorithmen im Quantencomputing, erforscht Quantensensorik und ermöglicht den niederschweligen Zugang zu Quantencomputer-Hardware.

### **Hochschulübergreifende Exzellenz in der Aus- und Weiterbildung von Quantentechnologie-Fachkräften**

Durch eine hochschul- und institutsübergreifende Zusammenarbeit in der Ausbildung von Quantentechnologie-Fachkräften (u. a. Quanteningenieure) werden nicht nur bestehende Ressourcen an den Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen gebündelt. Vielmehr werden Kooperationen vertieft und neue einrichtungsübergreifende Lehrangebote entwickelt und umgesetzt. Durch das breite Angebot der wissenschaftlichen Einrichtungen kann die Hauptstadtregion ihre Attraktivität in der Ausbildung erhöhen.

Mit dem Joint Lab (THWi/IHP „Photonische Bauelemente und Dünnschichttechnologien“) zur praxisnahen Ausbildung in den Bereichen der integrierten Photonik, Oberflächentechnik, Mikrosystemtechnik und Materialdiagnostik sind die Grundlagen geschaffen. Durch das CQTA am DESY in Zeuthen existiert die Expertise im Quantencomputing, die zu der Ausbildung von Wissenschaftlern und Ingenieuren in diesem Feld führt.



Hochschul- und institutsübergreifende Zusammenarbeit in der Ausbildung von Quantentechnologie-Fachkräften (Bündelung der Ressourcen)



Joint Labs (THWi/IHP) zur praxisnahen Ausbildung in den Bereichen der integrierten Photonik, Oberflächentechnik, Mikrosystemtechnik und Materialdiagnostik



Entwicklung neuer einrichtungsübergreifender Lehrangebote

### 5.3 Chancen und Potenziale der Region

Durch eine strategische und wissenschaftliche Zusammenarbeit der Akteure aus Forschung und Industrie kann ein bundesländerübergreifendes Quantentechnologie-Netzwerk entstehen, wodurch Innovationen gehoben (siehe auch SWOT-Analyse im Anhang) sowie die Wissenschaft und Wirtschaft nachhaltig geprägt werden. Anwendungsbeispiele für Quantentechnologien in der kommunalen und regionalen Wirtschaft sind in hoher Zahl vorhanden (Logistik im ländlichen Raum; dezentrale Verwaltungen, dezentrales Gesundheitssystem, Batterieforschung, Medizin, Finanzen). Mit neuen Konzepten für die Aus- und Weiterbildung in der Quantentechnologie werden Sichtbarkeit und Aufmerksamkeit generiert. Dies ist ein entscheidender Vorteil, um Fachkräfte zu gewinnen und zu halten.

### 5.4 Gemeinsame Themen der Anwendungsfelder



- Entwicklung von Quantenalgorithmen und Methoden (z. B. QML)
- Lösen von klassischen Optimierungsproblemen
- Lösungen aus der Grundlagenforschung
- Substrattechnologien und Materialforschung
- Si-basierte Technologieplattformen
- Schnittstelle mit klassischer Elektronik (bei tiefen Temperaturen)

Um die Zukunft der Quantentechnologie aktiv mitzugestalten, fokussiert sich das Netzwerk auf spezifische Themenfelder. Es wird eine multidisziplinäre Herangehensweise verfolgt, um die Möglichkeiten der Quantenwelt zu erforschen und in die Praxis umzusetzen. Im Mittelpunkt stehen folgende Schwerpunkte:

**Entwicklung von Quantenalgorithmen und Methoden:** Das Ziel ist die Entwicklung innovativer Quantenalgorithmen und Methoden, die zur effizienten Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen wie z. B. in der Mobilität, Batterieforschung, Gesundheit (Entwicklung neuer Medikamente beispielsweise gegen COVID-19) oder im Finanzwesen – um hier nur einige Anwendungsfelder zu nennen – beitragen.

- Hier sind **Quantenmaschinenlernalgorithmen (QML)** zu nennen, die ein herausragendes Beispiel dafür sind, wie die Vorteile der Quantenüberlegenheit genutzt werden, um komplexe Aufgaben noch besser zu bewältigen.
- Auch das **Lösen von klassischen Optimierungsproblemen**, wie sie etwa in der Logistik oder im Finanzwesen auftreten, wird im Netzwerk auf die Ebene der Quantentechnologien gehoben. Dadurch werden voraussichtlich Effizienz und Geschwindigkeit bei der Lösung sol-

cher Probleme gesteigert, was potenziell transformative Auswirkungen auf unterschiedlichste Branchen haben wird.

- **Lösungen aus der Grundlagenforschung:** Die Grundlagenforschung, wie sie etwa am DESY in Zeuthen betrieben wird, kann maßgeblich zum Verständnis der Quantentechnologien und zur neuen und besseren Herangehensweise an Quantenalgorithmen beitragen. Mehrfach haben etwa Erkenntnisse aus der theoretischen Hochenergiephysik zu Ideen geführt, die die Effizienz aktueller Quantenalgorithmen steigern konnten. Hier liegt ein direkter Pfad von der Grundlagenforschung zur Praxis, indem Quantentechnologien weiterentwickelt und neue Wege für Innovationen eröffnet werden.

**Substrattechnologien und Materialforschung und Schnittstellen:** Die Arbeit innerhalb des Netzwerks umfasst auch die Erforschung von Substrattechnologien und Materialien, die für die Entwicklung von Quantencomputern und Quantensensoren von entscheidender Bedeutung sind. Materialien mit den gewünschten Quanteneigenschaften sollen identifiziert und optimiert werden.

- In der Forschung und Entwicklung innerhalb des Netzwerks spielen vor allem **Si-basierte Technologieplattformen** eine zentrale Rolle, welche etwa als Basis für die Implementierung von Quantenbits (Qubits) dienen können.
- Um die Integration von Quantentechnologien in bestehende Systeme zu ermöglichen, werden Lösungen an den Schnittstellen **zwischen klassischer Elektronik und Quantenhardware erarbeitet**. Dies ist entscheidend für die praktische Anwendbarkeit von Quantencomputern.

Insgesamt strebt das Quantentechnologie-Netzwerk danach, die Grenzen des Machbaren in der Quantentechnologie zu erweitern und innovative Lösungen für reale Herausforderungen zu schaffen. Die multidisziplinäre Herangehensweise ermöglicht es, auf verschiedenen Ebenen der Quantenforschung und -anwendung erfolgreich zu agieren und einen positiven Einfluss auf Industrie und Wissenschaft zu nehmen.



- Sichere Datenübertragung
- Quanten-Cybersecurity
- Neuartige Kryptografiemethoden
- Sensor- und Technologieentwicklungen für Quantenkryptografie

Das Quantentechnologie-Netzwerk ist ebenfalls engagiert in der Gestaltung einer sichereren digitalen Zukunft und legt einen weiteren Fokus auf die Bereiche Sicherheit und Kryptografie. Die Potenziale der Quantenwelt sollen zum Schutz sensibler Informationen erschlossen werden. Im Zentrum unserer Bemühungen stehen folgende Schwerpunkte:

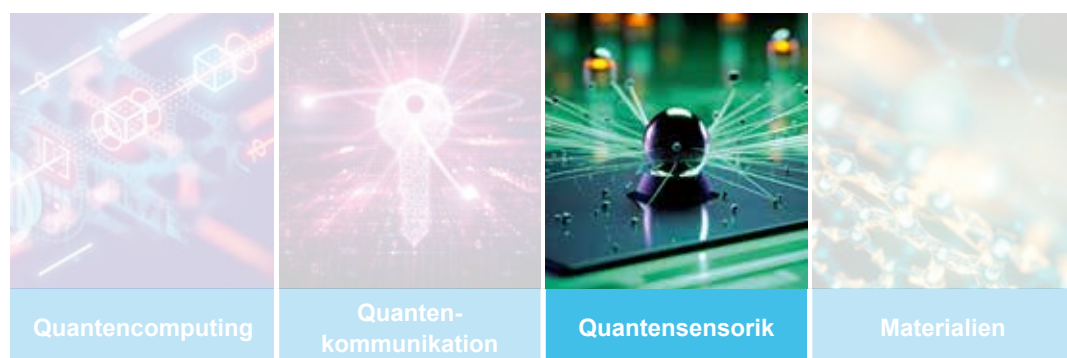
**Sichere Datenübertragung:** Es werden Technologien zur sicheren Datenübertragung erforscht, die auf den Prinzipien der Quantenkryptografie basieren. Diese Ansätze ermöglichen es, Daten mit einer Verschlüsselung zu übertragen, die von herkömmlichen Methoden unerreicht ist.

**Quanten-Cybersecurity:** Das Ziel ist, Quantenlösungen für die Cybersicherheit zu entwickeln, um Unternehmen und Organisationen vor den ständig wachsenden Bedrohungen aus dem digitalen Raum zu schützen. Die einzigartigen Eigenschaften von Quantentechnologien erlauben es, Abwehrmechanismen zu erarbeiten, die eine frühzeitige Erkennung und Abwehr von Cyberangriffen ermöglichen. Auch hier können Quantenoptimierungs- und Quantenmaschinentalgorithmen eine große Rolle spielen.

**Neuartige Kryptografiemethoden:** Quantenrechner und -algorithmen können zu neuartigen Kryptografiemethoden führen. Diese Methoden bieten einen erweiterten Schutz vor Angriffen, indem sie auf den fundamentalen Prinzipien der Quantenmechanik beruhen und herkömmliche Ansätze in den Schatten stellen.

**Sensor- und Technologieentwicklungen für Quantenkryptografie:** Die Forschung und Entwicklung von verbesserten Sensoren und Technologien, die in Quantenkryptografie-Systemen verwendet werden, spielt ebenfalls eine zentrale Rolle. Dadurch sollen Quantensysteme für die Quantenkommunikation zuverlässiger und effizienter gestaltet werden.

Insgesamt strebt das Quantentechnologie-Netzwerk danach, die Grundlagen der digitalen Sicherheit mitzugestalten und innovative Lösungen zu schaffen, um sensible Informationen vor Bedrohungen aus dem digitalen Raum zu schützen. Die Errungenschaften der Quantenwelt stellen ein entscheidendes Werkzeug für die Bewältigung der Herausforderungen der digitalen Sicherheit und Kryptografie dar.



Unter Quantensensorik wird eine Reihe von Sensortechnologien verstanden, die Prinzipien der Quantenmechanik nutzen, um die Präzision und Empfindlichkeit von Messungen zu verbessern. Bei der klassischen Sensorik sind die Messungen durch Faktoren wie die Empfindlichkeit der Instrumente bzw. der Sensorbauelemente und auch Auswirkungen von externem Rauschen begrenzt. Die Quantensensorik nutzt die einzigartigen Eigenschaften von Quantensystemen, um diese Einschränkungen zu überwinden.

Zu den wichtigsten genutzten Prinzipien der Quantensensorik gehören:

- **Superposition:** Quantensysteme können in mehreren Zuständen gleichzeitig existieren. Diese Eigenschaft ermöglicht es Quantensensoren, mehrere Parameter gleichzeitig zu messen, was ihre Effizienz erhöhen kann.
- **Verschränkung:** Quantenverschränkung ist ein Phänomen, bei dem zwei oder mehr Teilchen so miteinander korrelieren, dass der Zustand eines Teilchens den Zustand eines anderen Teilchens sofort beeinflusst, unabhängig von der Entfernung zwischen ihnen. Die Verschränkung kann genutzt werden, um die Präzision von Messungen zu verbessern.
- **Quanteninterferenz:** Hierbei werden die Quantenzustände von Teilchen manipuliert, um bestimmte Messergebnisse zu verbessern oder zu unterdrücken, was zu einer höheren Empfindlichkeit führt.

Die Anwendung dieser neuartigen Messmöglichkeiten eröffnet das Feld der sogenannten **Quantenmetrologie**. Die Quantenmetrologie ist ein Bereich innerhalb der Quantensensorik, der sich mit der Nutzung der beschriebenen Quanteneigenschaften befasst, um Messungen mit einer Präzision jenseits der klassischen Grenzen durchführen zu können. Dies kann besonders in Bereichen wie Zeitmessung, Magnetometrie und Gravimetrie, aber auch in der Grundlagenforschung, wie sie am DESY betrieben wird, von Nutzen sein.

Quantensensoren haben das Potenzial, verschiedene Bereiche und Anwendungen zu revolutionieren. Beispielhaft seien hier folgende genannt:

- **Navigation und Geophysik:** Quantensensoren können für präzisere Messungen in Navigationssystemen (z.B. Gyroskopen und Beschleunigungsmessern) und in geophysikalischen Anwendungen (z. B. Aufspüren von Bodenschätzen) eingesetzt werden.
- **Medizinische Bildgebung:** Quantensensoren können die Empfindlichkeit von bildgebenden Verfahren wie der Magnetresonanztomografie (MRT) verbessern.
- **Umweltüberwachung:** Quantensensoren können die Genauigkeit von Messungen bei der Umweltüberwachung verbessern, z. B. bei der Erkennung kleiner Veränderungen von Magnetfeldern oder Gravitationskräften.
- **Erforschung der Natur der dunklen Materie im Universum**

Die Forschung auf dem Gebiet der Quantensensorik ist aktuell ein hochdynamisches Entwicklungsfeld und insbesondere photonische Bauelemente bilden hier ein zentrales Werkzeug aufgrund der Quantennatur der Photonen bzw. der Lichtteilchen. Mit dem Fortschreiten der verschiedenen Technologieplattformen (Laser, Si-Photonic, III/V QW etc.), die auch einen besonderen Forschungsschwerpunkt in Brandenburg bilden, ist zu erwarten, dass sie zur Entwicklung empfindlicherer und präziserer Messgeräte führen wird, die in verschiedenen wissenschaftlichen und technologischen Bereichen Anwendung finden. Diese Sensorsysteme sind z. B. optische Quantenmagnetometer. Diese Sensoren nutzen Techniken der Quantenoptik, um Magnetfelder mit hoher Empfindlichkeit zu messen. Beispiele sind atomare Magnetometer, die die Quanteneigenschaften von Atomen nutzen, um Magnetfelder zu erkennen, und deren Quantenzustandsbestimmung über optische Messverfahren durchgeführt wird. Auch Verfahren für die Quantenbildgebung bzw. das Quanten-Imaging gehören dazu. Hier werden optische Quantensensoren eingesetzt, um die Auflösung und Empfindlichkeit von Bildgebungsverfahren zu verbessern, z. B. bei der quantenverstärkten Mikroskopie und der quantenverstärkten Bildgebung bei schlechten Lichtverhältnissen.

Daneben existieren bereits heute weitere Sensorsysteme wie Quantenthermometer, die supraleitende Materialien und deren Quanteneigenschaften nutzen, um die Temperatur mit hoher Präzision zu messen.

Quantensensoren sind wie erwähnt ein hochaktuelles und interessantes Forschungs- und Entwicklungsfeld, und die meisten Arten von Quantensensoren werden noch nicht auf breiter Basis kommerziell hergestellt. Der Nachweis quantenphysikalischer Wirkprinzipien, die Reproduzierbarkeit der Sensorelemente, deren Stabilität und Zuverlässigkeit für die anvisierte Funktionalität sind hier die Herausforderungen.



Das Brandenburger Quantentechnologie-Netzwerk setzt sich zum Ziel, Materialien, Bauelemente und Technologien zu erforschen, um diese Sensorentwicklungen weiter voranzutreiben. Hierzu zählen:

- Materialentwicklung für die Quantentechnologien sowie Evaluierung und Charakterisierung von Materialien
- Tieftemperaturcharakterisierung von Materialien (z. B. Magnetotransport)
- Isotopenreine Si-/SiGe- und Ge/SiGe-Quantentöpfe im Labormaßstab und in Pilotlinien
- Ultrakalte Atome, Ionen- und Atomfallen, Supraleiter
- Kohlenstoff-Nanotubes, Graphen-Nanoribbons, Halbleiter-Quantendots
- Erzeugung von dünnen Schichten
- Einbringung von Punktdefekten (z. B. im Diamanten)
- Dotierte Kristalle und Polymere
- Hybride photonische Strukturen, nichtlineare optische Materialien
- Spezialisierte optische Fasern



## 6 Profildbögen: Kompetenzen der Akteure

### Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg | Lehrstuhl Kommunikationstechnik

Quanteninspirierte KI-Methoden bedienen sich der mathematischen Modellierung (beispielsweise Matrizenmechanik, algebraische Quantentheorie, Hilbert- und Fockraumdarstellungen, Quantenlogik als Logik von Orthogonalprojektoren), in der Regel jedoch ohne Berücksichtigung quantenphysikalischer Effekte, insbesondere un stetiger Zustandsänderungen durch Messvorgänge.

Der Lehrstuhl forscht an quanteninspirierten Methoden der symbolischen künstlichen Intelligenz. Im Gegensatz zu numerischen KI-Methoden (beispielsweise tiefe neuronale Netze, Bayes-Netzwerke und -Klassifikatoren, Supportvektormaschinen usw.) arbeitet symbolische KI mit inhärent versteh- und interpretierbaren Datenstrukturen (beispielsweise Grammatik- oder Logikregeln oder relationale Datenbanken) und entsprechenden Kalkülen (beispielsweise Logikkalküle oder Lambda-Kalkül).

Die Verbindung zur algebraischen Quantentheorie wird durch Darstellungen symbolischer Datenstrukturen in hochdimensionalen Vektorräumen hergestellt (vektorsymbolische Architekturen, VSA). Operationen auf symbolischen Daten werden in der Vektorraumdarstellung durch Operatoren ausgedrückt.

Der Lehrstuhl forscht insbesondere an der Anwendung quanteninspirierter KI- und Maschinenlernverfahren zur Verhaltenssteuerung technischer kognitiver Systeme (beispielsweise Sprachdialogsysteme, intelligente Agenten oder Steuerungen von Industriemaschinen).

Quanteninspirierte KI-Methoden können sowohl auf herkömmlichen Digitalrechnern als auch auf neuromorphen und Quantenrechnern technisch implementiert werden.

#### Kontaktdaten

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Wolff  
Siemens-Halske-Ring 14  
03046 Cottbus

Tel.: 0355 69-2128  
matthias.wolff@b-tu.de  
<https://www.b-tu.de/fg-kommunikationstechnik>

### Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) | Center for Quantum Technology and Applications

Das Zentrum für Quantentechnologie und Anwendungen (Center for Quantum Technology and Applications, CQTA) am DESY ist ein Ökosystem für innovative Forschung in den Feldern des Quantum Sensing und des Quantum Computing. Neben der Entwicklung von Algorithmen und Methoden und der Ausbildung im Quantum Computing bietet das CQTA Forscherinnen und Forscher von DESY, aber auch Partnern aus Forschung und Industrie einen privilegierten Zugriff auf kommerzielle Quantencomputer, um bestehende Probleme zu berechnen und neue Anwendungen für Quantencomputer zu konzipieren und zu optimieren.

- Quantum Computing
- Quantum Sensing
- Hardwarezugang Quantum Devices
- Entwicklungen von Anwendungen und Anwendungsfällen
- Quantenalgorithmen und -methoden
- Ausbildung in Quantentechnologien

#### Kontaktdaten

Karl Jansen  
Platanenallee 6  
15738 Zeuthen  
karl.jansen@desy.de

Steven Worm  
Platanenallee 6  
15738 Zeuthen  
steven.worm@desy.de

<https://www.desy.de>  
<https://quantum-zeuthen.desy.de>

## Fraunhofer IPMS | Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus (iCampus Cottbus)

Der Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus (iCampus Cottbus) ist eine Forschungs Kooperation der zwei Fraunhofer-Institute IPMS und IZM sowie der Leibniz-Institute IHP und FBH, der BTU Cottbus-Senftenberg und der Thiem-Research GmbH. Im Fokus stehen Themenfelder der Mikrosensorik.

Gemeinsam mit kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) aus der Lausitz sollen innovative Produkte in den Forschungsfeldern Prozess- und Umweltsensorik, Digitalisierung/Industrie 4.0, Agrar 4.0 sowie Medizin/Life Science entwickelt und etabliert werden. Durch die Kooperationen der wissenschaftlichen Einrichtungen mit der Industrie soll ein Beitrag zur Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit der regionalen Unternehmen geleistet werden.

Die zweite Phase des Wissenschaftsprojekts wird im Rahmen des Sofortprogramms der Bundesregierung zum Strukturwandel der Kohleregionen bis Ende 2026 mit 20 Millionen Euro gefördert.

**Ein besonderes Highlight war die erste iCampus Cottbus Conference iCCC2024. Mehr Informationen unter [www.iccc2024.de](http://www.iccc2024.de).**

### Kontakt Daten

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Christine Ruffert  
Fraunhofer IPMS – BTU Cottbus-Senftenberg  
Konrad-Zuse-Straße 1  
03046 Cottbus

Tel.: 0355 69-4763  
[christine.ruffert@ipms.fraunhofer.de](mailto:christine.ruffert@ipms.fraunhofer.de)  
[christine.ruffert@b-tu.de](mailto:christine.ruffert@b-tu.de)  
<https://icampus-cottbus.de/>

## Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik – IHP und Technische Hochschule Wildau | Departments Technology und Material Research und Fachgebiet Mikro- und Nanoelektronik

- Ge-/Si-/SiGe-basierte Materialentwicklung auf 200 mm für Quantentöpfe, 2DEGs, 2DHGs, Spin Qubits
  - Wachstum von komplexen Heterostrukturen
  - Strukturelle und chemische Materialanalyse (XRD, XRR, Raman, SIMS, XPS, AFM, SEM, STEM)
  - Elektrische Eigenschaften von Heterostrukturen (Magnetotransport bei 1.5K und 12T, DLTS, C-V/I-V)
- Bauelement-, Modul- und Prozessentwicklung für 200-mm-basierte Technologieplattformen
  - Kontaktmodule, Gatterlagen, ...
  - Teststrukturen, Hallbars, ...
- Si-Photonik für Quantenanwendungen (sensitive PD, schnelle Analog-IC)
- Analogelektronik für kryogene Temperaturen zur Entwicklung von Ansteuer- und Ausleseschaltkreisen in Quantencomputing- und QuCom-Systemen
- Kryogene PDK-Umgebungen für „first-time-right“ Control- und Read-out-IC-(ROIC-)Entwicklungen in Quantensystemen

### Kontakt Daten

Dr. Felix Reichmann  
Im Technologiepark 25  
15236 Frankfurt (Oder)  
Tel.: 0335 5625-466  
[reichmann@ihp-microelectronics.com](mailto:reichmann@ihp-microelectronics.com)

Prof. Andreas Mai  
Im Technologiepark 25  
15236 Frankfurt (Oder)  
Tel.: 0335 5625-733  
[mai@ihp-microelectronics.com](mailto:mai@ihp-microelectronics.com)

Hochschulring 1  
15745 Wildau  
[andreas.mai@th-wildau.de](mailto:andreas.mai@th-wildau.de)



## Technische Hochschule Wildau

### Fachgebiete

- Photonik und optische Technologien
- Instrumentelle Analytik und angewandte Oberflächenphysik
- Laser- und Plasmatechnologien

### Expertisen/Kompetenzen

- Entwicklung und Charakterisierung von photonischen Bildgebungs- und Prozessierungssystemen für Strukturen im Nanometerbereich bis zu makroskopischen Objekten
- Entwicklung neuer Materialien für optoelektrische, elektrooptische und nichtlinear optische Bauelemente auf Basis von organischen, anorganischen und gemischten Molekül- und Quantensystemen
- Strukturelle, elektronische und magnetische Untersuchungen von Nanopartikeln, molekularen Systemen und dünnen Schichten
- Hochvakuum-Beschichtung, Spin-Coating, Langmuir-Blodgett-Technik, Vakuum-Depositions-Polymerisation
- Strukturierung dünner Schichten, reaktives Ionenätzen
- Laserschneiden, Laserablation, Laserdeposition, Plasmaaktivierung und -beschichtung von Oberflächen
- Synthese von niedermolekularen Verbindungen, konjugierten Polymeren, Chromophoren und Nanopartikeln
- Stationäre UV/VIS/NIR- und IR-Spektroskopie, zeitaufgelöste Transmissions- und Emissionsspektroskopie, Ellipsometrie, Oberflächen-Plasmonen-Spektroskopie, M-Linien-Spektroskopie, laserinduzierte Plasmaspektroskopie
- Spektroskopie mit Synchrotronstrahlung wie z. B. Analyse der Absorptionsfeinstruktur (XANES), dem magnetischen Zirkulardichroismus (XMCD) und Lineardichroismus (XLD, XMLD) sowie der kantenfernen Röntgenabsorptions-Feinstruktur (EXAFS)
- Rastersondenmikroskopie, Raman-Mikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie mit EDX, digitale Mikroskopie

### Kontaktdaten

Prof. Dr. rer. nat. Martin Regehly  
*Photonik und Optische Technologien*  
martin.regehly@th-wildau.de  
www.th-wildau.de/photonik

Prof. Dr. Carolin Schmitz-Antoniak  
*Instrumentelle Analytik und Angewandte Oberflächenphysik*  
carolin.schmitz-antoniak@th-wildau.de

Prof. Dr. Maria Krikunova  
*Laser- und Plasmatechnologien*  
maria.krikunova@th-wildau.de

Technische Hochschule Wildau  
Hochschulring 1  
15745 Wildau

## Technische Hochschule Wildau | Fachgebiet Automatisierungstechnik

Mess-, Kontroll- und Regelungstechnik, KI-Anwendung, Sprachsteuerung, Robotik

### Kontaktdaten

Frank Quadt  
Technische Hochschule Wildau  
Hochschulring 1  
15745 Wildau

Tel.: 03375 508-427  
frank.quadt@th-wildau.de  
<https://www.th-wildau.de/forschung-transfer/forschung/ic3>

## Technische Hochschule Brandenburg

### Quanten- und Umweltphotonik

- Laserstrahlquellen für die Quantenoptik, Einzelphotonen- und ultrabrighte Quellen verschränkter Photonen, hochstabile Diodenlasersysteme mit externen Resonatoren, Single-Mode-Hochleistungsdiodenlaser
- Quantenbildgebung, Zwei-Photonen-induzierte Fluoreszenz mit verschränkten Photonen, ultrakalte Atome, Laserspektroskopie an einzelnen gespeicherten Ionen, bildgebende Einzelatom-Temperaturmessung
- Photonenstatistik, ultraschnelle Detektion korrelierter Photonen mit Zwei-Photonen-Absorption
- Umweltphotonik und -spektroskopie, Fernerkundung, Gewässeranalytik mit photonischen Instrumenten, nachhaltige Beleuchtung, Wirkung von künstlichem Licht auf Ökosysteme, Lichtverschmutzung, Skyglow

### Theoretische Festkörperphysik und Finanzmathematik

- Vorhersage, Analyse von Materialeigenschaften mit Dichtefunktionaltheorie und dynamischer Molekularfeldtheorie
- Theorie der unkonventionellen Supraleitung, u. a. in kupferbasierten, eisenbasierten und organischen Kristallen
- Theorie topologischer Quantenmaterialien, u. a. anomaler Hall-Effekt, quantenanomaler Hall-Effekt, Quanten-Spin-Hall-Effekt
- Theorie des Quantenmagnetismus
- Anwendungen des Quantum Computing im Finanzbereich (Portfoliooptimierung, Derivatebewertung, Risikomanagement)

### Kontaktdaten

Prof. Dr. rer. nat. Andreas Jechow  
 Tel.: 03381 355-385  
[andreas.jechow@th-brandenburg.de](mailto:andreas.jechow@th-brandenburg.de)  
<https://www.th-brandenburg.de/mitarbeiterseiten/fbt/professorinnen/andreas-jechow/>

Prof. Dr. phil. nat. Daniel Guterding  
 Tel.: 03381 355-254  
[daniel.guterding@th-brandenburg.de](mailto:daniel.guterding@th-brandenburg.de)  
<https://danielguterding.github.io/>

TH Brandenburg  
 Magdeburger Straße 50  
 14770 Brandenburg an der Havel

## Universität Potsdam, Institut für Mathematik | Lehrstuhl für Algebra

### Operatoralgebren

- Mathematische Sprache der Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie
- $C^*$ -Algebren und Von-Neumann-Algebren
- Struktur und Klassifikation

### Gruppentheorie und verallgemeinerte Symmetrien

- Symmetriegruppen diskreter Strukturen
- Tensor kategorien
- Quantengruppen

### Mathematische Quanteninformationstheorie

- Modellierung von Verschränkung durch nicht lokale Spiele
- Gruppenbasierte Quantenalgorithmen

### Kontaktdaten

Prof. Dr. Sven Raum  
 Institut für Mathematik, Universität Potsdam  
 Campus Golm, Haus 9  
 Karl-Liebknecht-Straße 24–25  
 14476 Potsdam

Tel.: 0331 977-1352  
[sven.raum@uni-potsdam.de](mailto:sven.raum@uni-potsdam.de)  
[sven.raum-brothers.eu](http://sven.raum-brothers.eu)

## 7 Abkürzungsverzeichnis

AIP	Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)
BTU	Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
CM	Clustermanagement Optik und Photonik Berlin Brandenburg
CQTA	Center for Quantum Technology and Applications
DESY	Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
FBH	Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik
FOKUS	Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS
FU Berlin	Freie Universität Berlin
GFZ	Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum
HHI	Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI
HPI	Hasso-Plattner-Institut für Digital Engineering gGmbH
HS	Hochschule
HU Berlin	Humboldt-Universität zu Berlin
HZB	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
IAP	Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP
iCampus	Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus
IHP	Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP)
IKZ	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ)
IPMS	Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS
IZM	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM
MBI	Max-Born-Institut (MBI) für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie
PDI	Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (PDI)
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
QML	Quantum Machine Learning
QT	Quantentechnologie
THB	Technische Hochschule Brandenburg
THWi	Technische Hochschule Wildau
TU Berlin	Technische Universität Berlin
UP	Universität Potsdam

## 8 Anhang

### 8.1 SWOT-Analyse

Stärken
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exzellente Forschungslandschaft (Technische Hochschulen, Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen)</li> <li>• Angemessene Dichte/Verteilung an außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit komplementären Ausrichtungen → gesunde Konkurrenz</li> <li>• CQTA</li> <li>• Etablierte Photonikunternehmen</li> <li>• Quantentechnologie-Startups</li> <li>• Branchennetzwerke</li> <li>• Länderübergreifende Kooperationen auf allen Ebenen</li> <li>• Etablierte Veranstaltungsformate (Optik-Tag, Clusterkonferenz, Photonics Days Berlin Brandenburg) im Cluster Optik und Photonik, die der Vernetzung und der nationalen sowie internationalen Sichtbarkeit dienen</li> </ul>
Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nationale und internationale Sichtbarkeit der Kompetenzen</li> <li>• Gemeinsame Außenwirkung</li> <li>• Zunehmender Fachkräftemangel</li> <li>• Strukturprobleme, Zeitfaktor (nicht effiziente Prozessketten in Universitäten und wissenschaftlichen Einrichtungen)</li> </ul>

### 8.2 Ziele und Aktivitäten zur Umsetzung

Ziele	Aktivitäten zur Umsetzung	Akteur	Phase
Etablierung eines Quantentechnologie-Netzwerks mit gemeinsamen Projekten	Aufbau einer „Governance-Struktur“, z. B. eines Quantentechnologie-Advisory-Boards („Lenkungskreis“), und Durchführung von Treffen, Veranstaltungen Herausgabe eines Newsletters für die Quantentechnologie-Community	DESY, CM, THWi	2
Verknüpfung bestehender und gemeinsame Erschließung neuer Anwendungsfelder in Projekten	Durchführung gemeinsamer Veranstaltungen, Symposien unter Einbeziehung der Industrie	Cross Cluster CM	3

Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft (Finanz-, Logistik-, Pharma- und Chemiebranche, Batterieforschung, Medizin, Verkehr oder Automobilhersteller)	Durchführung von Veranstaltungen, Symposien Projektthemen identifizieren und Projektanträge stellen Kooperationsverträge Generieren und Darstellung Best-Practice-Beispiele Herausgabe eines Newsletters für die Quantentechnologie-Community OpTecBB → Photonics Days Berlin Brandenburg als Plattform nutzen	THWi, Op- TecBB	3
Vorantreiben der Aus- und Weiterbildung in der Quantentechnologie	Erarbeitung gemeinsamer, hochschulübergreifender Aus- und Weiterbildungskonzepte in der Quantentechnologie (Blockseminare, Integration in die jeweiligen Lehrveranstaltungen, gemeinsames Lehrveranstaltungsverzeichnis, Anerkennung, Credit Points, Mikroelektronikakademie → Modulhandbuch)	DESY, THWi, HU Berlin, Uni Potsdam, FU Berlin	2
Herausstellen der Besonderheiten der Region	Expertisen zusammenstellen (Broschüre, Webseite des Clusters für Darstellung nutzen), lokale Wertschöpfung darstellen Workshops zur strategischen Diskussion organisieren und durchführen	CM	3
Durchführung gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und Einreichung koordinierter Drittmittelanträge	Routinemäßiger Austausch unter den Akteuren Identifizierung geeigneter Förderprogramme	Alle Partner	3
Erhöhung der nationalen und internationalen Sichtbarkeit der Akteure	Auf nationalen sowie internationalen Fachkonferenzen für die Expertisen und die Quantentechnologie-Community der Hauptstadtregion werben Einbettung in Bundesinitiativen wie z. B. FMD-QNC durch IHP	IHP, THWi	3
Bürokratieabbau (Gewinnen von Fachkräften) Agile Strukturen aufbauen (Fast Track)	Politische Vertreter adressieren Fachkräfte zwischen Institutionen „austauschen“	Alle Partner	3
Technologische Herausforderungen und Fragestellungen aus der Industrie einholen	Durchführung von branchenübergreifenden Workshops (Cross Cluster)	CM	2

# Impressum

## Quantentechnologie Roadmap Brandenburg

*Auf dem Weg zu einer gemeinsamen QT-Zukunft in der Hauptstadtregion*

### Herausgeber

Clustermanagement Optik und Photonik Berlin Brandenburg  
c/o Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB)

### Redaktion

Clustermanagement Optik und Photonik Berlin Brandenburg  
c/o Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH

### Autoren

Dr. Enrico Brehm, Center for Quantum Technology and Applications (CQTA), Zeuthen  
Dr. Karl Jansen, Center for Quantum Technology and Applications (CQTA), Zeuthen  
Prof. Dr. Andreas Mai, Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) und Technische Hochschule Wildau,  
Fachgebiet Mikro- und Nanoelektronik  
Dr. Anne Techen, Wirtschaftsförderung Brandenburg (WFBB), Potsdam

### Redaktionsschluss

29.3.2024

### Layout und Grafik

GDA Gesellschaft für Marketing und Service der Deutschen Arbeitgeber mbH

### Druck

ARNOLD group

### Bildnachweis

Fotos: (Titel, S. 9, 18, 19, 20, 22) © AdobeStock: AndSus; (S. 9, 18, 19, 20, 22) © AdobeStock: Niki; © AdobeStock: ArtemisDiana; © AdobeStock: Vink Fan; (S. 8, 10, 15) © Midjourney: GDA Kommunikation



# Unser Ziel: Ihr Erfolg!

Berlin und Brandenburg fördern das Cluster Optik und Photonik durch eine länderübergreifende Wirtschaftspolitik. Das Clustermanagement erfolgt durch Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, den Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB) e. V. sowie die Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH.

Unser Ziel ist es, Unternehmen und Wissenschaftseinrichtungen in den Bereichen der Optik, Photonik, Mikroelektronik und Quantentechnologie bei der Weiterentwicklung am Standort umfassend zu unterstützen.

Wir helfen bei:

- **Standortsuche**
- **Förderung und Finanzierung**
- **Technologietransfer und F&E-Kooperationen**
- **Zusammenarbeit in Netzwerken**
- **Mitarbeiterrekrutierung**
- **Internationaler Markterschließung**

Sprechen Sie uns jederzeit gerne an!

[www.optik-bb.de](http://www.optik-bb.de)

Wirtschaftsförderung  
Brandenburg | **WFBB**

**Wirtschaftsförderung  
Land Brandenburg GmbH (WFBB)**  
Babelsberger Straße 21  
14473 Potsdam  
[www.wfbb.de](http://www.wfbb.de)

Ansprechpartnerin:  
Dr. Anne Techen  
Tel.: 0331 730 61-424  
[anne.techen@wfbb.de](mailto:anne.techen@wfbb.de)



**Kofinanziert von der  
Europäischen Union**