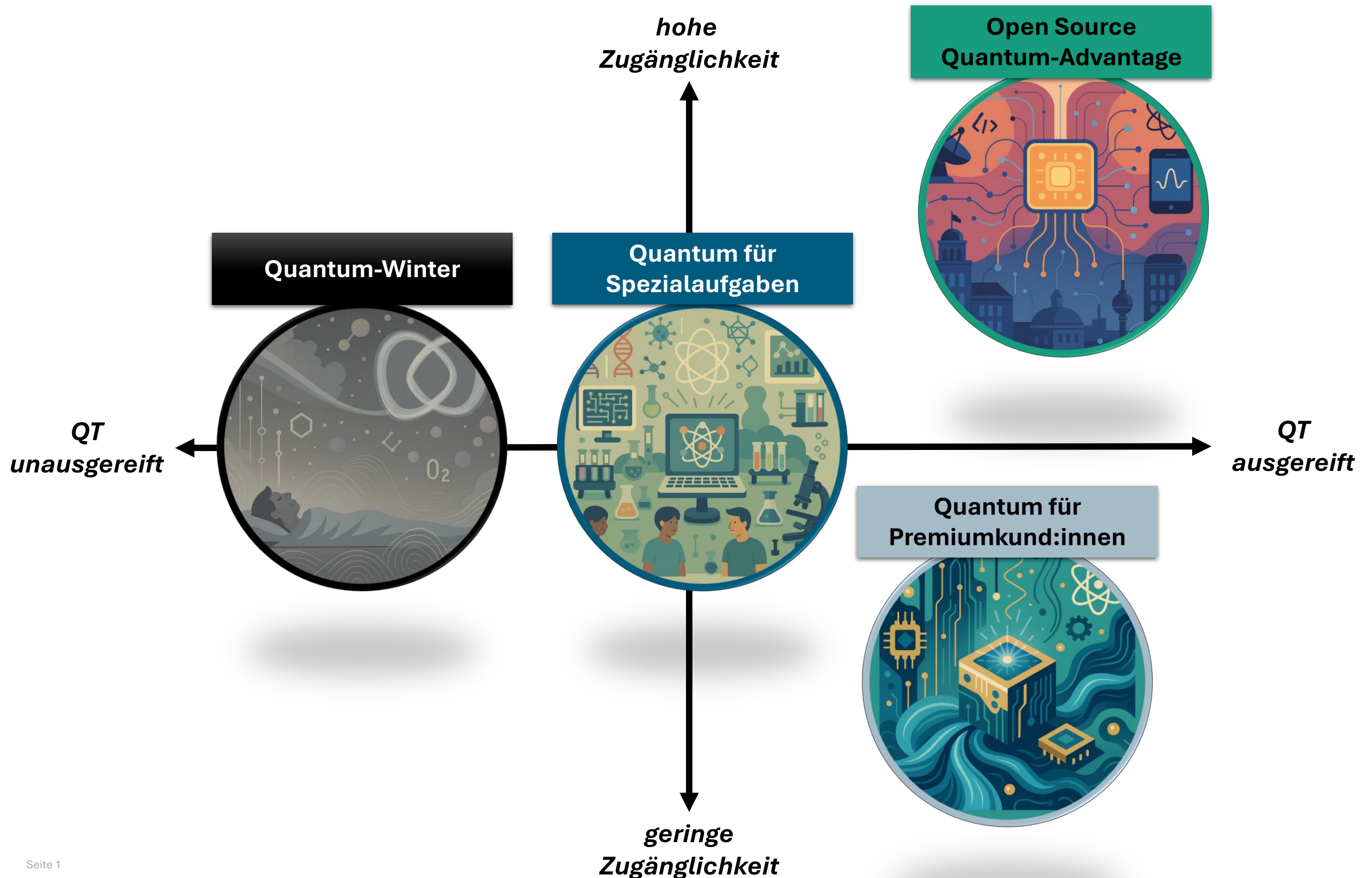


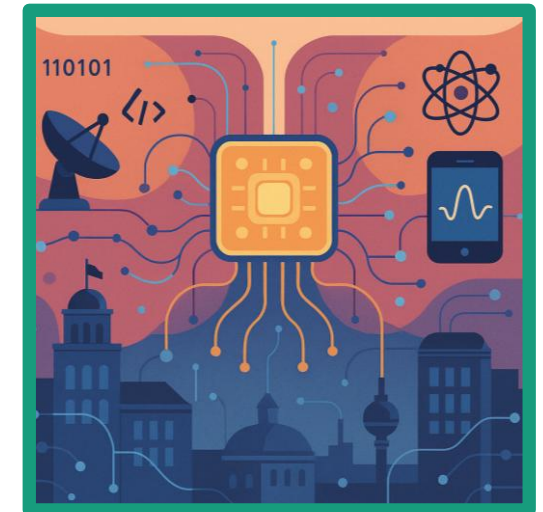
# Vier Zukünfte für Quantentechnologien



# Zukünfte für Quantentechnologien

4 Szenarien

## Open Source Quantum-Advantage

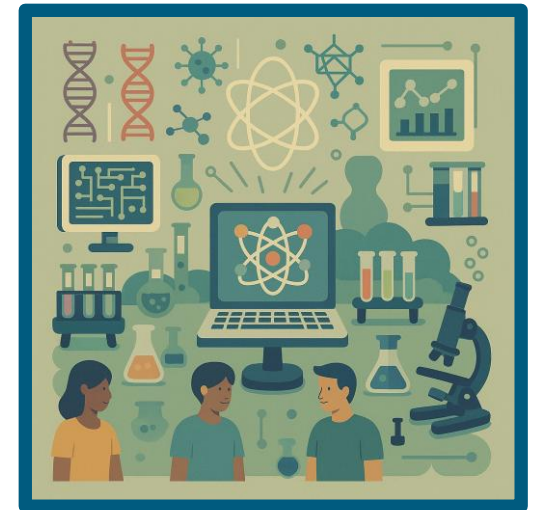


In diesem Szenario haben sich Quantentechnologien (QT) rasant weiterentwickelt. Es gelingt Quantenzustände einfach, sicher und zuverlässig zu kontrollieren und Quantensysteme sind nahezu beliebig skalierbar, das heißt, sie können an höhere Anforderungen angepasst werden, ohne an Leistung zu verlieren. QT führen in den unterschiedlichsten Bereichen zu Verbesserungen und neuen Möglichkeiten. Deutschland und die EU sind an diesen Entwicklungen maßgeblich beteiligt. Es ist gelungen das Grundlagenwissen in konkurrenzfähige Technologien zu überführen und europäische Partner sind in einigen Bereichen – z.B. bei der Quantensensorik – führend, während sie in anderen Bereichen wichtige Komponenten zur Verfügung stellen. Neben robusten, portablen Quantensystemen, die bei Raumtemperatur funktionieren und in handlichen Geräten verbaut sind, stehen auch leistungsstarke Quantencomputer über Cloud Services weltweit günstig zur Verfügung. Es hat sich eine aktive Open Source Community gebildet, die diese Ressourcen nutzt, um frei zugängliche und sicher nutzbare Software voranzutreiben. Benutzerfreundliche Programmiersprachen haben sich etabliert, sodass Anwendungen auch von jenen entwickelt werden können, die kein spezifisches Vorwissen mitbringen. Internationale Normen führen zu einer hohen Anschlussfähigkeit der entwickelten Lösungen und verbindliche Standards sorgen in kritischen Bereichen dazu, dass der missbräuchlichen Einsatz - z.B. in der Kryptographie - erfolgreich verhindert werden kann. QT und deren Anwendungen gehören längst zum Alltag und der „spukhafte“ Ruf von quantenmechanischen Effekten hat sich bei vielen in Neugier und Faszination verwandelt. Berufsbilder mit Bezug zu QT sind hoch angesehen und erfreuen sich großer Beliebtheit.

# Zukünfte für Quantentechnologien

4 Szenarien

## Quantum für Spezialaufgaben



Die Möglichkeiten Quantenphänomene zu nutzen und gezielt zu kontrollieren haben sich verbessert. Gleichzeitig wurden auch „klassische“ Technologien und innovative Ansätze aus ganz anderen Bereichen weiterentwickelt. Quantentechnologien werden weniger als abgegrenztes Feld betrachtet, sondern viel mehr als eine von vielen Möglichkeiten technologische Potenziale auszuschöpfen. Sie kommen dort zum Einsatz, wo ihr Mehrwert gegenüber anderen Technologien am größten ist oder sie diese sinnvoll ergänzen.

Das gilt nicht zuletzt für den Einsatz von Quantencomputern, die über Cloudsysteme zwar prinzipiell zugänglich sind, deren umfangreiche Nutzung jedoch energieintensiv und teuer ist. Anstatt Quantencomputer als universell programmierbare Rechner weiterzuentwickeln, werden sie für bestimmte Anwendungen vorangetrieben, bei denen sie anderen Plattformen überlegen sind und sich der Einsatz lohnt – z.B. bei der Simulation oder Optimierung komplexer Systeme.

In der Gesellschaft zeigt sich eine gesteigerte Technikaffinität und ein reflektierter Umgang mit den vielfältigen technischen Möglichkeiten. Das trifft auf Geldgeber:innen und Entscheidungsträger:innen zu, die Vor- und Nachteile von Quantentechnologien bei der Vergabe von Forschungsgeldern und der Gestaltung von Normen und Standards berücksichtigen. Aber auch die allgemeine Bevölkerung zeigt sich kompetent in der Nutzung der Technologien. Zwar interessieren sich nur wenige Nutzer:innen für deren genaue Funktionsweise, viele Anwendungen sind jedoch zum Alltag geworden und die Meinung zu technischen Möglichkeiten richtet sich in erster Linie nach deren Einsatz und Wirkung und weniger danach, ob es sich um Quanten- oder andere Technologien handelt.

International zeigt sich Deutschland als attraktiver Standort und wichtiger Zulieferer für Quantentechnologien bzw. deren Komponenten. Die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachgebieten wächst und profitiert von der breiten Kompetenz in der deutschen Forschungslandschaft. Deutsche Unternehmen sind wichtige Partner und Zulieferer in europäischen und internationalen Projekten.

# Zukünfte für Quantentechnologien

4 Szenarien



## Quantum für Premiumkund:innen

Quantentechnologien haben sich stark weiterentwickelt und zu ganz neuen Anwendungen geführt. Die fortschrittlichen Technologien werden jedoch außerhalb von Europa bereitgestellt und auch in Deutschland ist man auf den Zukauf von Services und Technologien angewiesen.

Die Furcht vor dem missbräuchlichen Einsatz von bestimmter Quantentechnologien und Proteste gegen deren Entwicklung und Anwendung haben in Europa zu strengen Regulierungen und zur weitgehenden Abkehr von Grundlagen- und Anwendungsforschung geführt. Andernorts gelten diese Vorgaben jedoch nicht und die Marktführer werben Fachkräfte und interessierten Nachwuchs ab und treiben die Technologieentwicklung weiter voran.

Nicht zuletzt im Bereich des Quantencomputings kommt es letztendlich zu Durchbrüchen. Es ergeben sich wegweisende neue Möglichkeiten, sodass die Nutzung der Services und Technologien in vielen Bereichen zur Voraussetzung wird, um konkurrenzfähig zu bleiben. Um nicht gänzlich den Anschluss zu verlieren, werden die strengen Regulierungen in Europa nach und nach zurückgenommen und auch deutsche Unternehmen nutzen den Zugriff auf cloudbasierte Quantencomputer der wenigen dominierenden Anbieter – jedoch gegen hohe Gebühren.



# Zukünfte für Quantentechnologien

4 Szenarien



## Quantum Winter

Die Hürden bei der Weiterentwicklung von Quantentechnologien konnten nicht überwunden werden und Anwendungen nehmen durch ausgereifere bzw. günstigere Konkurrenztechnologien eher ab als zu.

Die hohen Investitionen in die Weiterentwicklung von Quantentechnologien führen über lange Zeit zu keinen absehbaren Durchbrüchen. Insbesondere die hohen Erwartungen an ausgereifte Quantencomputer gelten als unerfüllbar. In der Gesellschaft regt sich nach den enttäuschten Hoffnungen Widerstand gegenüber weiteren Forschungsinvestitionen, nicht zuletzt, da diverse soziale und ökologische Herausforderungen unmittelbar nach Lösungen verlangen.

Regierungen und privatwirtschaftliche Akteure ziehen sich nach und nach aus der Entwicklung zurück und nur in Bereichen, in denen Kosten eine untergeordnete Rolle spielen, wie z.B. Sicherheit und Verteidigung, wird nach wie vor an der Weiterentwicklung von Quantentechnologien geforscht.

Bei der Frage nach der technologischen Souveränität des Standorts Deutschland sind Quantentechnologien kein gewichtiges Thema mehr und auch bei der Regulierung der wenigen existierenden Anwendungen richten sich Vorgaben nach dem Anwendungskontext. Eine eigenständige Regulierung für Quantentechnologien ist nicht notwendig.

Die Fachexpertise der zahlreichen Berufsbilder, die im vorausgegangenen „Quanten-Hype“ entstanden sind, bieten kaum spezifischen Nutzen – die Fachkräfte gelten jedoch in anderen Bereichen als angesehen, wodurch Mühe und Investitionen indirekte Vorteile bringen. Das Interesse beim Nachwuchs nimmt jedoch stark ab.