



FUTURE  
INNOVATION  
TECHNOLOGY

# #Quantum Works

Wird Quantencomputing nach Cloud und KI die entscheidende Infrastruktur der digitalen Transformation? Wer heute Quantum Readiness in unterschiedlichen Zukunftsszenarien versteht, macht sich schon jetzt fit für das nächste Computerzeitalter.



## **Willkommen zur zweiten Ausgabe unseres FIT-Magazins**

Quantencomputing steht auf den kommenden Seiten im Zentrum der Aufmerksamkeit. Von disruptiven Rechenmethoden über neue Geschäftsmodelle bis hin zu konkreten Chancen für Unternehmen jeder Größenordnung beleuchtet diese Ausgabe das Thema aus unterschiedlichsten Perspektiven.

Diese Ausgabe versammelt exklusive Beiträge führender Köpfe aus Forschung und Industrie, praxisnahe Analysen sowie inspirierende Einblicke in die Frage, wie Quantencomputing die Digitale Wirtschaft verändert.

Ob Strategie, Innovation oder technologische Grundlagen. Unser FIT-Magazin liefert fundiertes Wissen und neue Impulse für Entscheider\*innen, Entwickler\*innen und Visionär\*innen.

# HUNDERT JAHRE NACH MAX PLANCK

## Warum die Digitale Wirtschaft jetzt Quantencomputing verstehen muss.

**W**arum reden wir als Digitale Wirtschaft jetzt über Quantencomputing? Die Antwort hat viel mit Timing zu tun, denn die Vereinten Nationen haben das Jahr 2025 offiziell zum „International Year of Quantum Science and Technology“ ausgerufen. Sie würdigen damit hundert Jahre seit der Entstehung der modernen Quantenmechanik und wollen gleichzeitig das Bewusstsein für ihre künftige Bedeutung für Wirtschaft und Gesellschaft schärfen.[1] Wir stehen also nicht am Anfang einer Modewelle,

sondern an einem Wendepunkt. Gut ein Jahrhundert nachdem Max Planck den Grundstein gelegt und die Physik ins Quantenzeitalter geführt hat, beginnt nun die Phase, in der diese Grundlagen

in großem Maßstab in Produkte, Infrastruktur und Geschäftsmodelle übersetzt werden.

Für die Digitale Wirtschaft stellt sich damit eine zentrale Frage. Wird Quantencomputing nach Cloud und Künstlicher Intelligenz (KI) zur dritten großen Infrastruktur der digitalen Transformation? Und wenn ja, wann müssen wir handeln? Reicht es, zu warten, bis fertige Lösungen als Service gebucht werden können oder verlieren Unternehmen genau dann ihren Vorsprung, wenn sie Quantencomputing erst dann ernst nehmen, wenn Wettbewerber und internationale Plattformen schon damit experimentieren?

Cloud und KI haben uns gelehrt, wie schnell sich technologische Grundlagen wandeln können. Wer früh verstanden hat, wie Datenplattformen, Machine Learning und Automatisierung zusammenspielen, gestaltet heute Märkte. Wer gezögert hat, reagiert eher. Quantencomputing verspricht nun, genau diese datengetriebene Ökonomie noch einmal zu beschleunigen. Optimierung, Simulation, Kryptografie, KI Training. Überall dort, wo extrem komplexe Entscheidungen und riesige Zustandsräume eine Rolle spielen, verschiebt sich der Maßstab.

Für die Unternehmen der Digitalen Wirtschaft bedeutet das vor allem eines: Jetzt ist der richtige Moment, die eigenen Grundlagen zu prüfen und Zukunftsfragen bewusst zu stellen. Welche Bereiche meines Geschäftsmodells beruhen auf Verschlüsselung, auf Optimierung, auf datengetriebener Personalisierung. Wo stoßen heutige KI-Projekte perspektivisch an Grenzen der Rechenleistung oder Modellkomplexität und welche Daten, die ich heute als sicher einstufe, sollten im Hinblick auf zukünftige Technologien langfristig geschützt werden? Und nicht zuletzt – welche Kompetenzen brauche ich in meinem Unternehmen, um solche Entwicklungen einord-

Autorin:

**Katharina Jägear,**  
Head of  
Innovation  
& Technology,  
BVDW



nen, bewerten und in strategische Schritte übersetzen zu können.

Es gibt heute viele, neue Fragen zu klären und das wegen einer Technologie, die als wissenschaftliche Grundlage bereits seit 100 Jahren existiert.

Genau hier setzt dieses Magazin an. Wir nehmen euch von Schrödingers Katze bis zum Q-Day mit und erläutern, warum Quantenmechanik keine abstrakte Physikvorlesung ist, sondern eine strategische Frage für Marketing, Medien und digitale Werbung. Wir betrachten, was heute, morgen und übermorgen auf Unternehmen zukommt. Von Post Quanten Kryptografie und ersten Piloten in der Optimierung bis hin zu völlig neuen Geschäftsmodellen, die nur mit Quantencomputern denkbar werden.

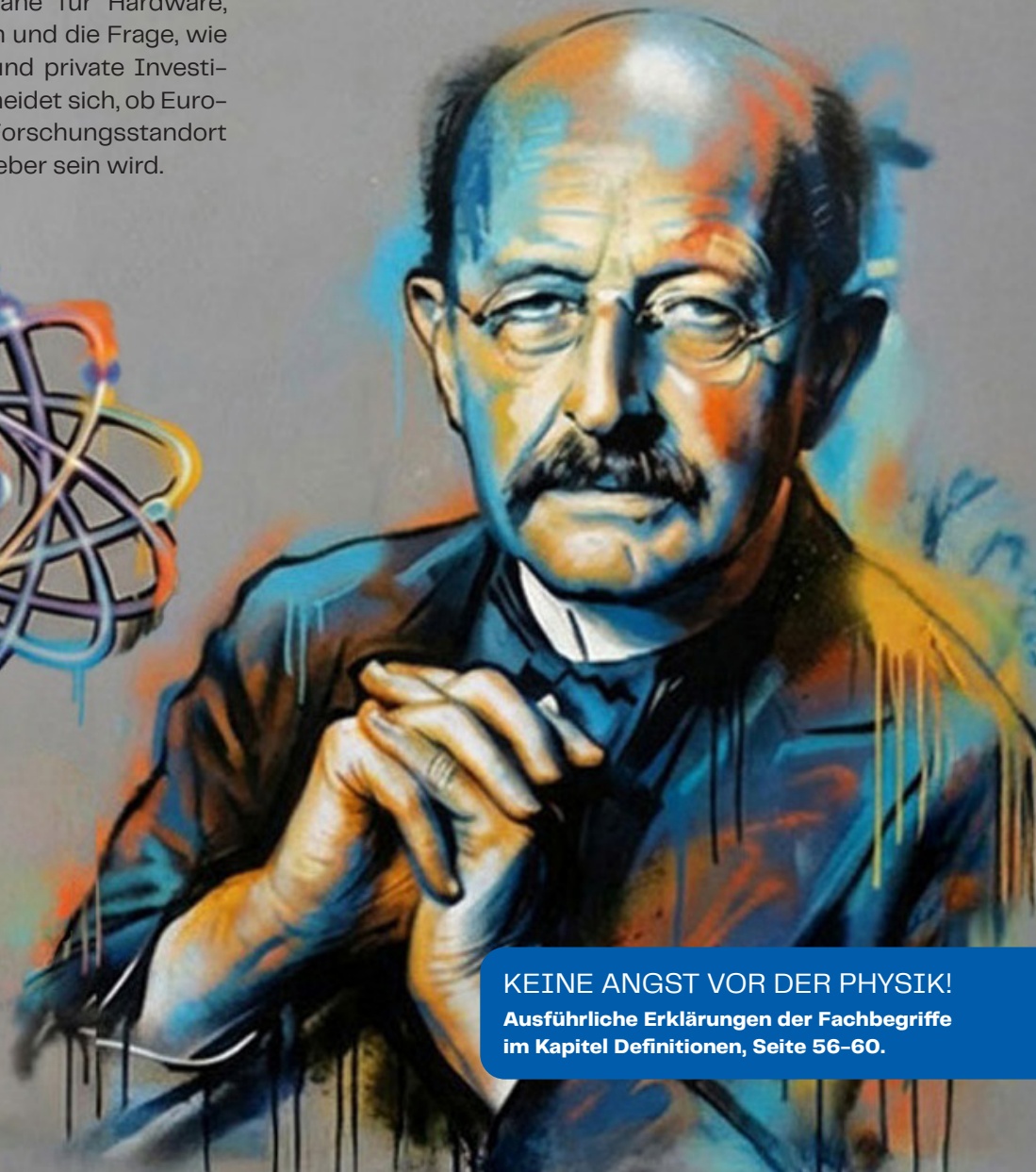
Anschließend richten wir den Blick auch auf die politische Ebene. Die Strategien Deutschlands und Europas, die Ausbaupläne für Hardware, Software und Rechenzentren und die Frage, wie sich staatliche Programme und private Investitionen verzahnen. Hier entscheidet sich, ob Europa im Quantenzeitalter nur Forschungsstandort oder auch industrieller Taktgeber sein wird.

$$E = h\nu$$

Als Bundesverband Digitale Wirtschaft ist es unsere Aufgabe, solche Entwicklungen nicht erst dann zu begleiten, wenn sie im Tagesgeschäft angekommen sind.

Wir wollen mit Expert\*innen die Digitale Wirtschaft vor der Welle vorbereiten und für Zukunftstechnologien sensibilisieren. Indem wir Grundlagen erklären, politische Rahmenbedingungen einordnen, Investitionssignale sichtbar machen und mit konkreten Fragen und Tools helfen, die eigene Quantum Readiness zu bestimmen.

Die Frage ist nicht, ob Quantencomputing wichtig wird, sondern wie gut die deutsche Digitale Wirtschaft vorbereitet ist, wenn aus dem International Year of Quantum Science and Technology der Beginn einer neuen Phase der digitalen Transformation wird.



**KEINE ANGST VOR DER PHYSIK!**  
Ausführliche Erklärungen der Fachbegriffe  
im Kapitel Definitionen, Seite 56-60.



# **CATS, QUBITS AND SUPERPOSITION — SHOULD WE CARE?**

Von Schrödingers Katze bis Q-Day:  
Warum Quantencomputing bald auch  
Marketing und Werbung verändert

---

Seit Jahrzehnten prägen digitale Technologien unsere Welt, von den ersten Computern über das Internet bis hin zu Künstlicher Intelligenz. Nun steht die nächste potenziell disruptive Technologie in den Startlöchern: das Quantencomputing. Während KI längst im Alltag von Marketing, Medien und digitaler Werbung angekommen ist, gilt Quantencomputing heute noch als futuristisch, schwer greifbar und von Mythen umrankt. Doch die Grundlagen sind bereits gelegt, und die Auswirkungen könnten ebenso bahnbrechend sein, wie jene der KI – oder sogar darüber hinausgehen.

Um zu verstehen, warum Quantencomputer so viel Aufmerksamkeit erhalten, lohnt sich ein Blick auf ihre Funktionsweise: Sie brechen mit den klassischen Prinzipien der Informationsverarbeitung und nutzen stattdessen die Gesetze der Quantenphysik. Damit eröffnen sie eine völlig neue Form des Rechnens – eine, die in bestimmten Problemkategorien klassischen Computern deutlich überlegen ist

#### Warum Quantencomputer anders sind

Während herkömmliche Computer mit Bits arbeiten, die nur die Zustände 0 oder 1 kennen, nutzen Quantencomputer sogenannte **Qubits**. Diese können dank **Superposition** mehrere Zustände gleichzeitig einnehmen. In Kombination mit **Verschränkung** und **Interferenz** entsteht eine Art paralleles Rechnen in ungeahnter Dimension.

Ein Vergleich: Ein klassischer Rechner durchsucht eine Bibliothek Buch für Buch, um ein bestimmtes Zitat zu finden. Ein Quantencomputer schlägt gewissermaßen alle Bücher gleichzeitig auf und blendet durch Interferenz die falschen Lösungen aus.

Diese Funktionsweise eröffnet neue Horizonte – aber auch Herausforderungen. Quantencomputer sind extrem empfindlich und leiden unter **Dekohärenz**, was bedeutet, dass kleinste äußere Störungen ihre Rechenprozesse zerstören können. Viele heutige Quantencomputer – insbesondere supraleitende Systeme – müssen auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt von etwa  $-273\text{ °C}$  gekühlt werden. Deshalb hängen ihre empfindlichen Qubit-Strukturen

in mehrstufigen Kryostaten, die oft an goldene Kronleuchter erinnern. Andere Architekturen benötigen wiederum spezielle Bedingungen wie Ultrahochvakuum, präzise Lasersteuerung oder komplexe optische Systeme – ein Hinweis darauf, dass Quantencomputing noch weit von einer alltäglichen Nutzung entfernt ist.

#### Von Theorie zu Praxis – warum es für Marketing und Werbung relevant ist

Auf den ersten Blick mag Quantencomputing wie ein Thema für Physiker\*innen oder Kryptografen\*innen wirken. Doch auch für die Digitale Wirtschaft und insbesondere die Medien- und Werbebranche wird es relevant – aus drei Gründen:

##### 1. Exponentielle Datenanalyse:

Marketing lebt von Daten. KI-Modelle analysieren Zielgruppen, prognostizieren Kaufentscheidungen und optimieren Kampagnen. Quantencomputer könnten diese Modelle künftig massiv beschleunigen und Muster in Datenmengen erkennen, die für klassische Rechner verborgen bleiben.

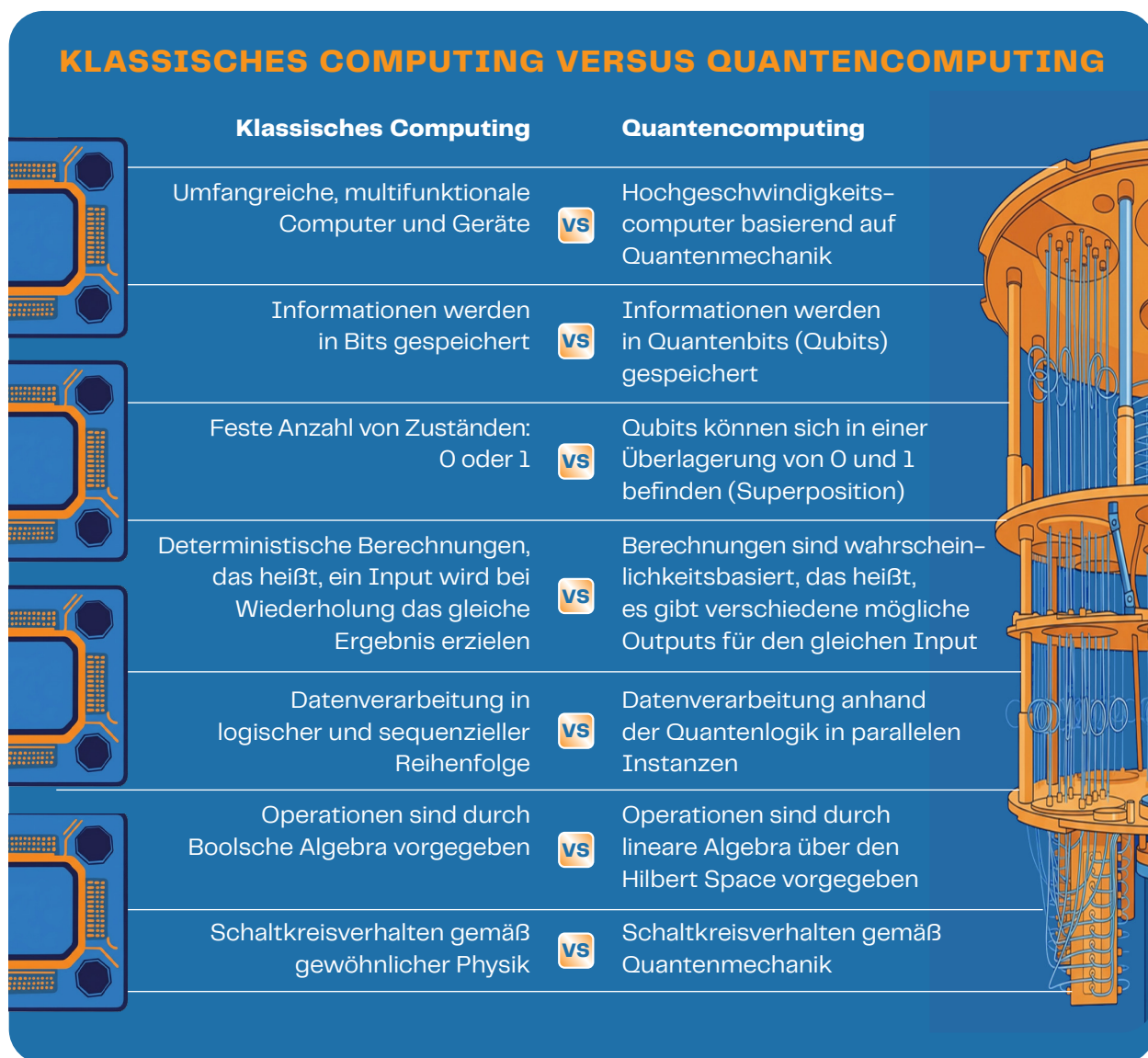
##### 2. Personalisierung in Echtzeit:

Schon heute ist „das richtige Angebot zur richtigen Zeit“ das Mantra des digitalen Marketings. Quantencomputing könnte in Verbindung mit KI helfen, Entscheidungen in Millisekunden zu treffen – und zwar in einem Maßstab, den aktuelle Systeme nicht erreichen.

Autorin:

**Heike Fuhrmann,**  
Director Development  
& Innovation,  
iq digital





### 3. Optimierung komplexer Systeme:

Werbeauspielung, Preisgestaltung, programmatische Auktionen – all das sind hochkomplexe Optimierungsprobleme. Quantencomputer sind dafür prädestiniert, weil sie gleichzeitig unzählige Varianten durchspielen können.

Kurz gesagt: KI macht uns klug im Umgang mit Daten – Quantencomputing könnte uns superschnell und effizient darin machen.

#### Q-Day – die neue Zeitenwende?

Doch wo Chancen liegen, sind auch Risiken nicht fern – und gerade im Kontext von Datensicherheit sorgt ein Szenario besonders für Aufmerksamkeit: der **sogenannte Q-Day**. Der Moment, an dem Quantencomputer leistungsfähig genug sind, die heute gängigen Verschlüsselungsverfahren in praktikabler Zeit zu knacken. Damit wären Banktransaktionen, Gesundheitsdaten, Geschäftsgeheimnisse und praktisch jede Form digitaler Kommunikation potenziell angreifbar.

Für die Digitale Wirtschaft wäre Q-Day eine Zäsur: Vertrauen in Datensicherheit – einer der Grundpfeiler von Marketing, Werbung und digitaler Vermarktung – stünde schlagartig auf dem Spiel. Umso wichtiger ist es, sich schon heute mit Post-Quantum-Kryptografie auseinanderzusetzen, also mit Verschlüsselungsmethoden, die auch gegenüber Quantenangriffen sicher sind.

#### Parallelen zu KI – und warum beides zusammengedacht werden muss

Die Entwicklung von Quantencomputern weist erstaunliche Parallelen zur Geschichte der KI auf:

- **Faszination & Skepsis:** Auch KI galt lange als „Buzzword ohne Praxis“. Heute ist sie in jedem Werbe- und Analysetool integriert.
- **Hybrid-Modelle:** Wie KI oft in Kombination mit klassischem Code arbeitet, werden auch Quantencomputer im **hybriden Computing** klassische Rechner ergänzen, nicht ersetzen.

- Ethik & Verantwortung: KI hat Debatten über Fairness, Transparenz und Nachhaltigkeit ausgelöst. Quantencomputing wird ähnliche Fragen stellen – vor allem rund um Sicherheit und gesellschaftliche Auswirkungen.
- In der Vermarktung könnten KI und Quantencomputing künftig Hand in Hand gehen: KI generiert intelligente Modelle, Quantencomputer beschleunigen deren Berechnung und machen sie auf völlig neue Weise skalierbar.

### Von der Theorie zur strategischen Vorbereitung

Noch sind Quantencomputer weit davon entfernt, in Agenturen oder Marketingabteilungen im Alltag genutzt zu werden. Aber wie bei der KI gilt: Wer die Grundlagen versteht und die Entwicklungen beobachtet, kann frühzeitig Chancen nutzen – und Risiken minimieren.

Für die digitale Werbung und Vermarktung bedeutet das konkret:

- Monitoring: Entwicklungen im Bereich Post-Quantum-Kryptografie sowie mögliche Fortschritte bei Datenanalyse und Optimierung im Blick behalten.
- Kooperation: Austausch mit Technologiepartnern, die bereits Pilotprojekte starten.
- Vorbereitung: Strategische Szenarien entwickeln – vom Worst Case (kryptografische Risiken und notwendige Migrationen) bis zum Best Case (neue Optimierung- und Personalisierungsmöglichkeiten).

Noch klingt das nach Science-Fiction. Tatsächlich arbeiten aber weltweit Tech-Giganten, Startups und Forschungslabore fieberhaft daran, Quantencomputer aus der Theorie in die Praxis zu holen. Erste Prototypen existieren bereits, allerdings noch in hochsensiblen Laboren und meist nur für sehr spezialisierte Aufgaben.

Expert\*innen erwarten, dass in den nächsten fünf bis zehn Jahren erste praxistaugliche Anwendungen entstehen könnten – abhängig vom Fortschritt bei Hardware und Fehlerkorrektur – bevor Quantencomputer langfristig zu einem festen Bestandteil des digitalen Ökosystems werden.

**Schrödingers Katze** mag noch in ihrer Box sitzen – doch für Marketing und Digitale Wirtschaft ist klar: Die Frage ist nicht mehr, ob wir sie öffnen, sondern wann.



## Tipp der Redaktion: Quantencomputing in der Popkultur

Interessanterweise spiegelt sich vieles davon längst auch in unserer Popkultur. Habt ihr schon einmal die deutsche Serie Dark auf Netflix gesehen? [1] Eine mehrfach preisgekrönte Mystery Produktion, die international gefeiert wurde und bis heute zu den erfolgreichsten deutschen Serien weltweit zählt. Sie spielt mit Motiven der Quantenphysik, mit Zeitschleifen, Parallelwelten und der Frage, wie sich Realität verändert, wenn Ursache und Wirkung nicht mehr eindeutig sind. Fiktional, atmosphärisch und komplex, aber

gleichzeitig ein gutes Beispiel dafür, wie tief Quantenideen inzwischen in unserer Popkultur verankert sind. Die Serie zeigt, dass Quantenkonzepte längst nicht mehr nur in Forschungslaboren vorkommen, sondern unsere Vorstellungskraft prägen und damit auch den Boden für technologische Akzeptanz bereiten. Genau deshalb ist der Blick über den Tellerrand manchmal hilfreich, um zu verstehen, welche kulturelle Resonanzräume eine Technologie hat, bevor sie in der Wirtschaft Realität wird.

# INNOVATIONS-PLAYBOOK

## Vier Handlungsfelder für digitale Zukunft im Quanten Zeitalter

Die Auseinandersetzung mit Quantencomputing ist weit mehr als ein technisches Projekt – sie ist der Inbegriff des Innovationsprozesses. Zukunftsorientierte Lösungen entstehen dort, wo bestehende Denkmuster hinterfragt und neue Wege geschaffen werden.

### 1. Innovation:

#### Haltung als Gamechanger

Der Wandel beginnt im Mindset. Wer Innovation gestalten will, braucht Mut, Neugierde und die Bereitschaft, Fehler als Lernchancen zu nutzen. Der Wert eines ersten Projekts im Quantenkontext ist nicht der kurzfristige ROI, sondern der langfristige Wissensgewinn. Organisationen müssen sich befähigen, Unsicherheit aktiv zu gestalten und als Motor für Entwicklung zu begreifen.

### 2. Foresight:

#### Zukunft signalisieren – Zukunft sichern

Vorausschauende Unternehmen erkennen frühe Signale und wandeln sie in belastbare Strategien um. „Harvest Now, Decrypt Later“ ist ein solches Signal. Die Konsequenz? Proaktiv handeln und die eigene Kryptolandschaft kritisch prüfen. Mögliche Aktion: Heute eine Inventur von Krypto-Assets starten. Entwickeln einer PQC (Post-Quantum-Kryptographie) –Migrationsstrategie – nicht als Option, sondern als Notwendigkeit für nachhaltige Resilienz.

### 3. Exploration:

#### Neue Wege systematisch erforschen

Exploration ist der Schlüssel, um unbekanntes Potenzial zu identifizieren und zu erschließen. Es braucht Experimente, ein Verlassen der Komfortzone und das systematische Suchen nach Lösungen jenseits eingetretener Pfade. Mögliche Aktion: Zusammenstellen eines „Spähtrupps“ – ein

dynamisches Team, das vernetzt agiert und erste „Spielzeugprobleme“ (in Form von Machbarkeitsstudien an heute noch unlösbaren Problemen) löst. Vorantreiben von Sie Open Innovation: Vernetzung von Teams in Communities wie dem Quantum Business Network (QBN), um Wissen aus Start-ups und Forschung früh zu integrieren.

### 4. Upskilling:

#### Zukunftsfähigkeit in die Organisation bringen

Das beste Strategiekonzept bleibt wirkungslos ohne Menschen, die es mit Leben füllen. Upskilling heißt: gezielte Kompetenzentwicklung, Austausch und Pioniergeist fördern, Erfahrungen mit echten Tools und Plattformen sammeln. Mögliche Aktion: Entwickeln interner „Quanten-Übersetzer“. Nutzen von frei verfügbare Cloud-Plattformen und Open-Source-Tools wie Qrisp, damit Tech-Talente praktische Erfahrungen sammeln und visionäres Denken verankert wird. Diese Felder sind kein einmaliges To-Do, sondern der Start eines zyklischen Innovationsprozesses, der Unternehmen fit macht für jede kommende technologische Herausforderung. Wer heute beginnt, lebt den Fortschritt und hat morgen die Anleitung für die Wunderkiste in der Tasche.

**Innovation:** Mut zur Veränderung, Neugier und Fehlerakzeptanz als Basis jeder echten Innovationskultur. Lernfortschritt und Know-how sind wertvoller als kurzfristiger ROI.

**Foresight:** Frühsignale analysieren, Handlungsvorschläge ableiten und umsetzen – von der Inventur der Krypto-Assets bis zur Strategie für den Wechsel auf PQC.

**Exploration:** Experimentierfreude systematisch fördern, agile Teams vernetzen und Open Innovation pushen – etwa mit Partnern im Quantum Business Network.

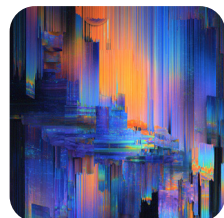
**Upskilling:** Kontinuierliche Entwicklung der Kompetenzen, Cloud-Plattformen und Open-Source-Tools nutzen, Zukunftsdenken und Pioniergeist aktiv fördern.



Autor:

**Robin de Bruijn,**  
Director Business  
& Transformation  
Strategy,  
denkwerk

# INHALTSVERZEICHNIS



## INNOVATION

- Verändert Quantencomputing heute mein digitales Geschäft?**  
Use Cases heute, Morgen und Übermorgen **12**
- Quantentechnologien als Schlüssel zur Zukunft –**  
Politikpläne in Deutschland und Europa **16**



## EXPLORATION

- Vom Labor in die Wirklichkeit:**  
Quantencomputing als gesellschaftlicher Hebel –  
und als Aufgabe für die Digitale Wirtschaft **22**
- Wenn sich jeder Datenpunkt um Dich dreht –**  
Mit Quantum auf die nächste Stufe der Personalisierung **27**
- Quantum als Superposition:**  
Wer investiert, wie viel und warum jetzt? **30**



## FORESIGHT

- Quantenmacht:**  
Wenn Technologie zur geopolitischen Waffe wird **34**
- Runter von der Spielwiese, rauf auf die Bilanz:**  
Wo liegt der goldene Quantum-Hebel? **36**



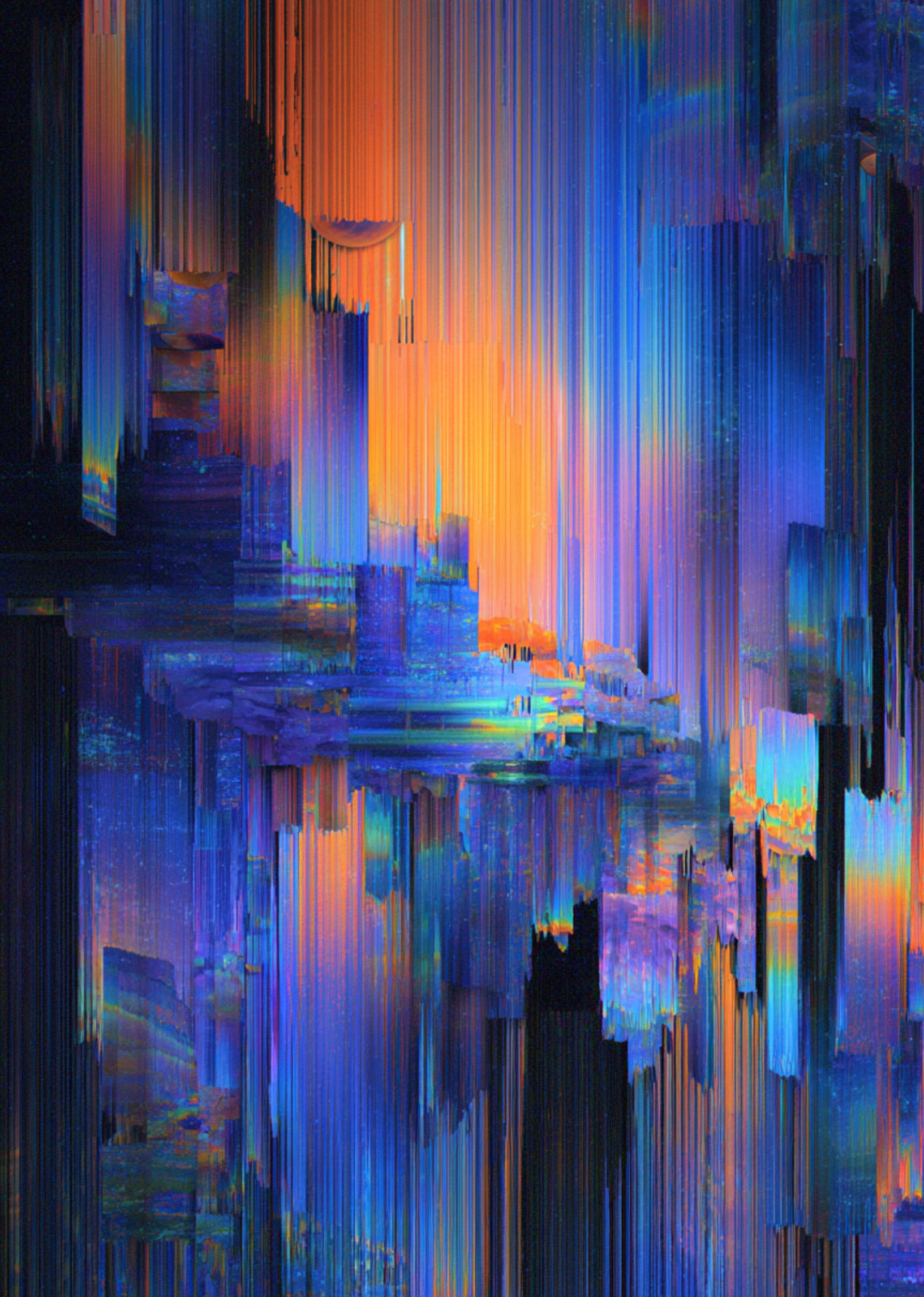
## UPSKILLING

- Quantencomputing for Dummies** **42**
- Wieviel Quanten-Know-how brauchen wir wirklich?** **46**
- Ein Quickcheck für die deutsche Digitale Wirtschaft** **50**



## OUTRO

- Von der Technologie zur Gestaltungskraft:**  
Der Auftrag an die Digitale Wirtschaft **54**
- Definitionen** **56**
- Autor\*innen** **62**
- Quellenverzeichnis** **63**
- Über uns / Impressum** **64**



## Kapitel 01

# INNOVATION

Mehr als nur Labor:  
Wie Quantencomputing  
Cloud, KI & Co.  
Beine macht

# Verändert Quantencomputing heute mein digitales Geschäft?

## Daten sind Kapital – Geschwindigkeit ist Strategie

**Q**uantencomputing transformiert die digitale Ökonomie fundamental. Während viele dem versprochenen Quantensprung noch abwartend entgegensehen, formt sich bereits jetzt bei genauem Hinsehen eine klare Marschroute für die digitale Zukunft: Wer früh handelt, nutzt Chancen, Prozesse und Innovationszyklen, die das Potenzial von Quantencomputern bereits mitdenken. Die grundlegende Strategie? Ein progressiver Dreiklang aus Heute, Morgen und Übermorgen, der Mut zur Transformation und Weitsicht erfordert.

### **Optimierung neu denken: Von Perfektion bis Echtzeit**

Stell Dir vor, jede digitale Entscheidung basiert auf mathematischer Perfektion: Das Gebot in der

Programmatic Auction, die Content-Empfehlung oder die Variante im A/B-Test – alles wird für Millionen von Nutzer\*innen in Echtzeit präzise optimiert. Was heute nach Hochglanzvision klingt, steht davor, Realität zu werden. Quantencomputing verlässt die Sphäre der Theorie und mischt die digitalen Märkte auf, setzt neue Maßstäbe für Effizienz und Nutzererlebnis.

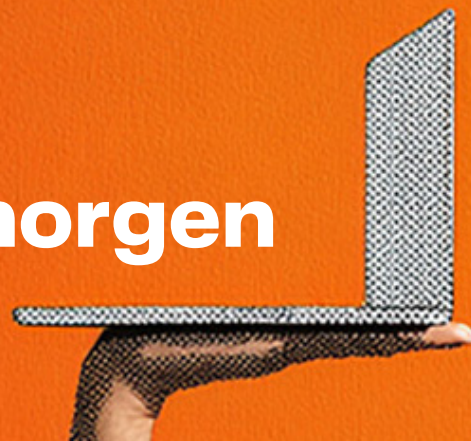
Das Risiko: Wer passiv bleibt und nur darauf setzt, dass die Technik sich irgendwann von selbst durchsetzt, spielt gegen die Geschwindigkeit des Fortschritts und verpasst ihn. Die Revolution der Quantentechnologie entfaltet sich nicht abrupt, sondern schrittweise und die ersten (Fort-) Schritte finden bereits statt.

Autor:

**Robin de Bruijn,**  
Director Business  
& Transformation  
Strategy,  
denkwerk



# Use Cases heute, Morgen und Übermorgen



## Was heute relevant ist:

### Heute: Unsichtbare Bedrohungen und KI als Innovationstreiber

Die dringendste Herausforderung im Hier und Jetzt: „**Harvest Now, Decrypt Later**“. Daten, die heute verschlüsselt abgezogen werden, könnten schon bald mit Quantencomputern entschlüsselt werden, ein Gamechanger in Sachen Sicherheit und Vertrauen. Darum investieren Tech-Konzerne weltweit intensiv in Post-Quanten-Kryptografie und Standards, die die Integrität digitaler Geschäftsmodelle auch in der Zukunft sichern. Zugleich wird die nächste Innovationswelle durch den intelligenten Einsatz von KI ermöglicht: Künstliche Intelligenz agiert als Dompteur, entwirft komplexe Quantenschaltungen, korrigiert Fehler instabiler Qubits und unterstützt die Hardware. Fortschritte bei KI sind ein zentraler Enabler für die Marktreife von Quantenlösungen.

### Verteidigung und Exploration: Schutz und Talent als Kernkapital

Defensive Maßnahmen werden also unerlässlich, insbesondere für datenintensive Branchen wie Finanzen oder Versicherungen. Die Einführung von Post-Quanten-Kryptografie, hybride Verschlüsselung und krypto-agile Prozesse sichern nicht nur vertrauliche Kundendaten, sondern stabilisieren das Geschäftsmodell gegen zukünftige Bedrohungen. Parallel dazu läuft eine Ära der Exploration: Unternehmen nutzen Quantenclouds, interne Challenges und Hackathons, evaluieren,

welche ihrer Kernprobleme für Quantencomputing geeignet sind und bauen entscheidendes intellektuelles Kapital für Morgen auf. Talente mit Erfahrung im Quantenbereich werden so zum strategischen Wettbewerbsvorteil. Das Ziel: Die Defensive wird zur strategischen Kür und ein aktives Signal für Innovation und Kundenvertrauen setzen.

### USE CASE:

#### Aufbau von Krypto-Agilität in der Finanzinfrastruktur

**Szenario:** Eine Zentralbank oder ein großes Finanzinstitut betreibt eine kritische Infrastruktur für Transaktionen, die absolut sicher sein muss. Ein abrupter Wechsel der Verschlüsselungsstandards wäre operativ extrem riskant.

**Lösung:** Das Institut implementiert ein krypto-agiles System. Anstatt einen einzigen Algorithmus fest zu verankern, wird die Infrastruktur so gestaltet, dass Verschlüsselungsalgorithmen dynamisch und ohne Systemausfall ausgetauscht werden können. Heute wird dies genutzt, um hybride Ansätze (klassisch + PQC) zu testen und morgen einen nahtlosen Übergang zu reiner PQC oder anderen zukünftigen Standards zu ermöglichen.

# 2026

## Was morgen relevant ist:

### Morgen:

#### Die Ära der Millisekunden-Jäger

Ab etwa 2028 wird erwartet, dass die ersten kommerziellen Quantenlösungen die Optimierung komplexester Datenprobleme ermöglichen. Die Digitale Wirtschaft kann profitieren: Werbebudget-Optimierung über tausende Kanäle, dynamisches Pricing im AdTech, Logistik auf der letzten Meile oder Hyper-Personalisierung in Echtzeit – Wettbewerbsvorteile entstehen durch effiziente Auswertung und Nutzung von Daten, die vorher so nicht denkbar waren. Das technische Zusammenspiel gleicht besten Teamwork: Klassisches High-Performance Computing als Leistungsträger, Quantencomputer als Spezialisten für Extremprobleme und KI als orchestrierender Dirigent, der Ressourcen und Aufgaben optimal verteilt.

### Offensive Strategie:

#### Optimierung als Business-Enabler

Morgen wandelt sich die Relevanz von reiner Absicherung zu offensiver Wertschöpfung. Die entscheidenden Fragen: Wo liegen die größten Engpässe? Ist es die Conversion-Rate, die Logistikkosten oder die Churn-Rate? Quantencomputing bietet gerade für diese Herausforderungen die ersten kommerziellen Lösungsszenarien. Kleinste Optimierungsschritte in Kernprozessen wie Personalisierung, Bid-Strategien oder Portfolio-Analytics können sich exponentiell auf Umsatz, Marge und Nutzererlebnis auswirken. Die Vorreiter übersetzen ihre wichtigsten Herausforderungen aktiv in die mathematische Sprache der Quantencomputer und bereiten damit den Weg für die nächste Generation digitaler Optimierung.



### Symbiose:

#### Quanten-Power für KI als Boost der Daten-intelligenz

Quantencomputer werden nicht als Ersatz, sondern als Hochleistungs-Co-Prozessoren für KI dienen. Sie beschleunigen gezielt die Analyse riesiger, vernetzter Datensätze – etwa in Graph Neural Networks (GNNs) – und lösen kombinatorisch anspruchsvolle Aufgaben, bei denen klassische Rechner an ihre Grenzen stoßen. Über hybride Cloud-Plattformen wird diese Power für Unternehmen praktikabel und steuerbar. Im Zentrum steht die Frage: Welches Optimierungsproblem im eigenen Geschäftsmodell ist noch ungelöst? Die Quantenoffensive beginnt nicht mit fertigen Produkten, sondern mit der gezielten Analyse und Übersetzung strategischer Herausforderungen

### USE CASE:

#### Optimierung von Graph-basierten KI-Modellen (Social Media, FinTech)

**Szenario:** Eine Social-Media-Plattform oder ein Zahlungsdienstleister nutzt Graph-Neuronale-Netze (GNNs) zur Erkennung von Betrugsmustern oder zur Empfehlung von Inhalten/Kontakten. Die Analyse dieser riesigen, vernetzten Datensätze ist extrem rechenintensiv.

**Lösung:** Bestimmte rechenintensive Aufgaben innerhalb der GNNs, wie die Identifizierung der wichtigsten Knoten (Centrality) oder optimaler Communities (Community Detection), werden auf einen Quantenprozessor ausgelagert. Dies beschleunigt das Training der KI-Modelle und ermöglicht die Analyse komplexerer Muster in Echtzeit, was zu einer besseren Betrugserkennung und relevanteren Empfehlungen führt.

# 2028

## Was übermorgen relevant ist:

### Übermorgen:

#### Die Architekten völlig neuer digitaler Welten

Ab etwa 2035 wird erwartet, dass die Phase echter Disruptionsmöglichkeiten beginnt: Quantencomputer ermöglichen die Simulation komplexer Systeme auf molekularer Ebene, schaffen neue Produkte und Wertschöpfungsketten, die physikalisch und ökonomisch bislang unmöglich schienen. Der Unterschied zu generativer KI? Während GenAI aus Daten neue Muster generiert, simuliert der Quantencomputer die Wirklichkeit nativ. Die Kombinatorik-Explosion, die KI limitiert, wird überwunden – so entstehen Innovationen wie neue Medikamente, Materialien und digitale Zwillinge ganzer Märkte und Nutzerlandschaften.

### Neues digitales Fundament:

#### Kausalität, Sicherheit und Ökosysteme

Die Fähigkeit, Mikrowelten physikalisch korrekt zu simulieren, lässt KI künftig echtes kausales Verständnis entwickeln. Digitale Marktplätze werden nicht nur durch Software, sondern durch physikalische Prinzipien abgesichert. Generative Welten entstehen aus ersten Regeln, wachsen unendlich und dynamisch und bilden die Grundlagen für die nächste Generation digitaler Produkte und Geschäftsmodelle.

### Use Case:

#### Entwicklung von KI mit echtem „Verständnis“ durch Simulation

**Szenario:** Heutige KI-Modelle (LLMs) sind extrem gut in der Mustererkennung in Texten, haben aber kein echtes Verständnis von Kausalität oder komplexen menschlichen Interaktionen.

**Lösung:** Ein FTQC (Fault Tolerant Quantum Computer) wird genutzt, um komplexe sozio-ökonomische Mikrowelten zu simulieren. Eine KI wird in diese Simulation „hineingesetzt“, um durch Interaktion und Beobachtung Kausalzusammenhänge zu „lernen“. Anstatt nur Sprache zu imitieren, entwickelt sie ein grundlegendes Modell der Welt. Daraus entstehen völlig neue digitale Produkte: KI-Berater, die strategische Geschäftsentscheidungen treffen können, oder autonome Agenten, die komplexe Verhandlungen führen.



*Die Paradigmenfrage lautet nicht mehr: Wie werde ich effizienter? Sondern: Was kann ich kreieren, das bislang unmöglich war?*



# 2035

# QUANTENTECHNOLOGIEN ALS SCHLÜSSEL ZUR ZUKUNFT

## Politikpläne in Deutschland und Europa

Quantencomputer gelten neben Künstlicher Intelligenz als eine der Technologien, die Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft grundlegend verändern werden. Sie könnten komplexe Probleme, etwa in der Materialforschung, der Medikamentenentwicklung oder der Optimierung globaler Lieferketten, in Sekunden lösen, für die heutige Supercomputer Wochen oder Monate benötigen. Im weltweiten Rennen um diese Technologie investieren Staaten und Unternehmen Milliarden. Deutschland und die EU verfolgen dabei ambitionierte Strategien, um in diesem Zukunftsfeld nicht nur mitzuhaltenden, sondern eine Führungsrolle einzunehmen.

Die Bundesregierung betrachtet Quantentechnologien als eine von sechs Schlüsseltechnologien in der Hightech Agenda Deutschland. Die Schlüsseltechnologien sind für die wirtschaftliche Stärke und technologische Unabhängigkeit entscheidend. Ziel ist es, bis 2030 u.a. mindestens zwei fehlerkorrigierte Quantencomputer zu bauen und der Forschung wie auch der Industrie zugänglich zu machen. Fehlerkorrektur ist ein entscheidender Schritt, weil Quantenbits, sogenannte Qubits, sehr störanfällig sind. Erst durch aufwendige Korrekturverfahren werden sie zuverlässig nutzbar und damit für anspruchsvolle Anwendungen interessant.

Für Anwender bedeutet das: Wer sich schon heute mit Quantenalgorithmen, Simulationen oder hybriden Ansätzen beschäftigt, kann bald auf deutlich leistungsfähigere Systeme zugreifen. Zunächst über Testzugänge in Forschungseinrichtungen, später über kommerzielle Plattformen. Branchen wie Chemie, Automotive, Logistik oder Finanzdienstleistungen sollten bereits jetzt Pilotprojekte starten, um Expertise aufzubauen und später den Vorsprung nutzen zu können.

Um das Ziel zu erreichen, setzt Deutschland auf mehrere Maßnahmen: Ein Hardware-Wettbewerb, der Ende 2025 startet, soll verschiedene Technologieplattformen gegeneinander antreten lassen, um den besten Ansatz für skalierbare Systeme zu finden. Vergleichbar mit einem Innovationswettbewerb im Start-up-Bereich, nur auf höchstem Hightech-Niveau. Parallel dazu wird die Entwicklung eines offenen und modularen Software-Stacks gefördert, damit Anwendungen zwischen verschiedenen Systemen portierbar bleiben. Für Unternehmen heißt das: Künftige Softwarelösungen sollen herstellerunabhängig laufen – ein wichtiger Faktor, um früh entwickelte Anwendungen

Autor:

**Janek Kuberzig,**  
Public Affairs  
Manager Data  
& Technology,  
BVDW



The image features a large, stylized globe in the center, rendered with a vibrant, multi-colored digital glitch effect. The globe is set against a background of a cityscape at sunset, with buildings and trees silhouetted against a warm, orange and red sky. The overall aesthetic is modern and digital.

**EU** Nationale und europäische  
Initiativen greifen ineinander  
und schaffen gemeinsam  
die kritische Masse,  
um Europas Position  
im globalen Wettbewerb  
zu stärken.

später flexibel einsetzen zu können. Junge Unternehmen erhalten bessere Rahmenbedingungen, um als Systemintegratoren zu agieren oder Forschungsergebnisse in marktfähige Produkte zu überführen. Auch die Integration von Quantencomputern in bestehende Hochleistungsrechenzentren (HPC) wird vorangetrieben, um hybride Systeme zu erproben. Das eröffnet Entwickler\*innen die Möglichkeit, bestehende HPC-Workflows gezielt mit Quantenmodulen zu kombinieren.

Neben dem Quantencomputing adressiert die Hightech-Agenda Deutschland auch weitere Bereiche der Quantentechnologien, insbesondere Quantensensorik und Quantenkommunikation. Quantensensoren ermöglichen etwa deutlich präzisere Messverfahren, zum Beispiel in der Medizintechnik, der Umweltüberwachung oder der industriellen Qualitätssicherung. Quantenkommunikation zielt auf besonders sichere Formen der Datenübertragung, etwa für kritische Infrastrukturen. Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt dennoch auf dem Quantencomputing, da hier derzeit die größten industriepolitischen Hebel gesehen werden und sich die politischen Maßnahmen besonders stark auf Anwendungen, Skalierung und Marktzugang konzentrieren.

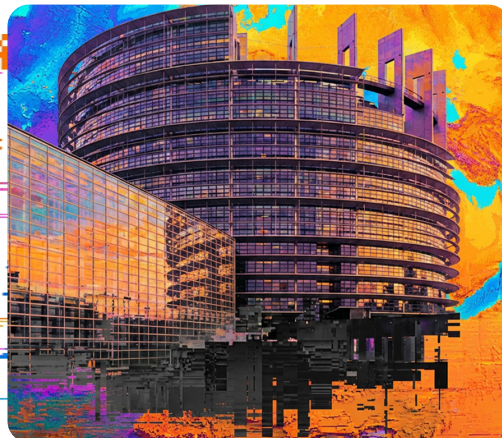
Ab 2026 sollen zudem drei industrielle Pilotlinien den Sprung von der Forschung zur Fertigung schaffen. Wer in den kommenden zwei bis drei Jahren Pilotkooperationen eingeht, kann hier frühzeitig von entstehenden Fertigungskapazitäten profitieren. Deutschlands Stärken liegen in der weltweit führenden Forschung, hoher öffentlicher Investitionsbereitschaft und einer dynamischen Start-up-Szene. Defizite bestehen beim Zugang zu Wagniskapital im internationalen Vergleich sowie beim Fehlen großer Technologiekonzerne als Systemintegratoren.

Auch die Europäische Union hat mit der Quantum Europe Strategy eine klare Vision: Europa soll zu einer globalen Quanten-Industriemacht werden.

Politisch gilt die Technologie als „kritisch“, weil sie nicht nur wirtschaftlich relevant ist, sondern auch für Sicherheit und Verteidigung strategische Bedeutung hat. Die EU will ihre führende Forschung in industrielle Erfolge ummünzen. Sie beherbergt rund ein Drittel der weltweiten Quantenunternehmen und liefert fast die Hälfte der Hardware- und Softwarekomponenten.

Für Anwender bringt das vor allem mehr offene Plattformen, auf die man ohne eigene Hardware investieren zu müssen zugreifen kann. Ab 2026 sollen die EuroHPC-Quantenrechner ausgebaut werden, mit dem Ziel, bis 2030 Systeme mit 100 fehlerkorrigierten Qubits zu erreichen. Bis 2035 sollen Tausende fehlerkorrigierter Qubits erreicht werden. Diese Rechner sollen als Beschleuniger für bestehende Supercomputer fungieren, was vor allem für rechenintensive Bereiche wie KI-Training, Finanzmodellierung oder Materialsimulation interessant ist. Um den Schritt von Forschung zu Produktion zu schaffen, startet die EU 2025 sechs Pilotproduktionslinien im Rahmen des Chips Joint Undertaking, einer Initiative zur Stärkung der Halbleiter- und Quantenchipfertigung.

Offene Testumgebungen und Kompetenzzentren (QCCs) werden in den nächsten Jahren ausgebaut und vernetzen Forschung, Industrie und Start-ups. Wer Quantenalgorithmen oder Hardwarekomponenten entwickelt, kann sich dort frühzeitig einbringen, um Standards mitzugestalten. Finanzierungsprogramme wie der European Innovation Council Fund sollen die Wagniskapital-Lücke schließen, während große Innovationswettbewerbe („Grand Challenges“) gezielt technologische Durchbrüche anstoßen, unter anderem bei fehlertoleranten Quantencomputern. Auch auf EU-Ebene gibt es Hürden: nationale Programme sind oft zersplittert, es fehlt an Großabnehmern aus der Industrie und bei Patenten liegt Europa zurück.



## Wie Deutschland und Europa ineinandergreifen

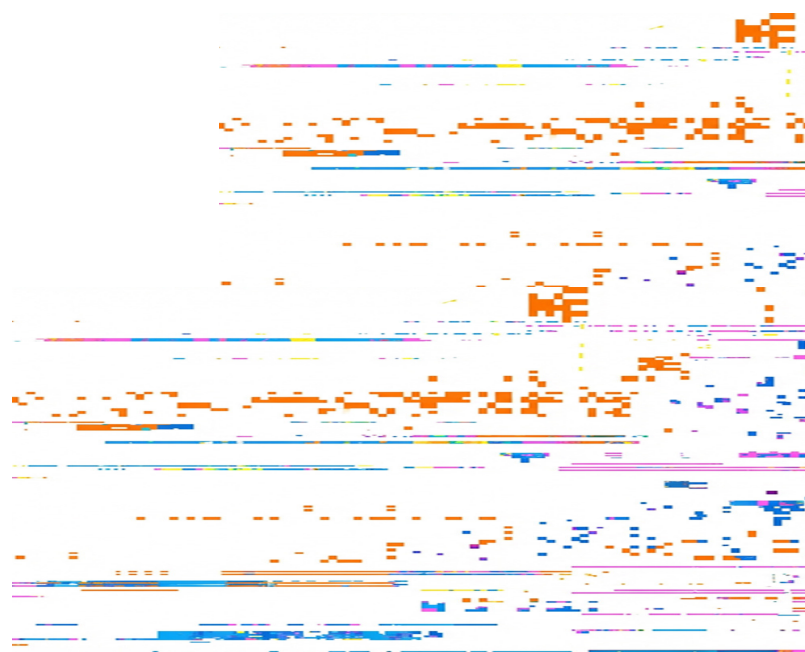
Bereich	Deutschland 	EU 	Nutzen
<b>Hardware</b>	<b>2 fehlerkorrigierte Quantencomputer bis 2030</b>	<b>100-Qubit-Systeme bis 2030</b>	<b>Gemeinsame Skalierungsziele</b>
<b>Produktion („Lab to Fab“)</b>	<b>3 Pilotlinien ab 2026</b>	<b>6 EU-Pilotlinien ab 2025</b>	<b>Vernetztes Fertigungsnetz</b>
<b>Start-ups/ Wagniskapital</b>	<b>EXIST, AI-Nation, günstige Marktbedingungen</b>	<b>EIC Fund, Scaleup Europe Fund</b>	<b>Finanzierungslücke schließen</b>
<b>Integration in HPC</b>	<b>Quantencomputer in Rechenzentren testen</b>	<b>Hybridisierung mit Supercomputern</b>	<b>Synergie bei KI &amp; Simulation</b>
<b>Fachkräfte</b>	<b>„Quantum Future Professionals“-Programm</b>	<b>„European Quantum Skills Academy“</b>	<b>Talente ausbilden</b>

Beide Strategien sind so angelegt, dass sie sich ergänzen. Deutschland bringt seine Stärken in Forschung, Industrianbindung und Pilotfertigung ein, während die EU für Koordination, Vernetzung und Marktentwicklung sorgt. Die politische Logik dahinter ist klar: Quantencomputer sind zu komplex und teuer, als dass einzelne Länder oder Unternehmen allein die nötigen Investitionen stemmen könnten. Durch abgestimmte Programme sollen Doppelarbeit vermieden, Ressourcen gebündelt und europäische Anbieter gestärkt werden.

Politisch betrachtet ist diese enge Verzahnung keine Selbstverständlichkeit. Nationale Strategien orientieren sich oft an kurzfristigen Regierungszyklen, während EU-Programme langfristiger angelegt sind und auf Konsens zwischen Mitgliedstaaten basieren. Die deutsche High-tech-Agenda knüpft gezielt an die europäischen Ziele an und liefert Beiträge, die in den gemeinsamen Rahmen passen – von der Hardwareentwicklung über die Pilotfertigung bis hin zur Ausbildung von Fachkräften. Umgekehrt profitieren deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen von der europäischen Infrastruktur, den Finanzierungsinstrumenten und der internationalen Sichtbarkeit.

Für Unternehmen, Start-ups und Entwickler\*innen bedeutet das, dass in den kommenden Jahren neue Testumgebungen, Förderprogramme und Produktionskapazitäten entstehen, die den Einstieg in Quantenanwendungen deutlich er-

leichtern. Wer früh dabei ist, kann nicht nur von politisch finanzierten Ressourcen profitieren, sondern auch Standards und Schnittstellen mitgestalten und so Einfluss auf die künftige Ausrichtung des europäischen Quanten-Ökosystems nehmen. Gleichzeitig bleibt die Herausforderung, aus der Vielfalt der Projekte konkrete Anwendungen zu entwickeln, die wirtschaftlich tragfähig sind. Der politische Rahmen ist dafür nun so ausgerichtet, dass nationale und europäische Initiativen ineinandergreifen und gemeinsam die kritische Masse schaffen, um Europas Position im globalen Wettbewerb nachhaltig zu stärken.





## Kapitel 2

# EXPLORATION

Wie verändert  
Quantencomputing  
unsere Welt?

# VOM LABOR IN DIE WIRKLICHKEIT

Quantencomputing als gesellschaftlicher Hebel –  
und als Aufgabe für die Digitale Wirtschaft



Ein Meinungs- und Interviewbeitrag  
von **Simon Boé**, Geschäftsführer,  
onehundred.digital GmbH –  
basierend auf einem Gespräch mit  
**Dr. Jan Goetz**  
(IQM Quantum Computers)

Quantencomputing hat lange nach „irgendwann später“ geklungen: faszinierend, aber fern, eher Stoff für Physikseminare als für Vorstandsetagen. Aber bereits 2025 hat sich diese Erzählung spürbar verschoben – nicht, weil plötzlich alle Probleme gelöst wären, sondern weil aus einer Vision zunehmend eine Infrastrukturfrage wird. Im zurückliegenden International Year of Quantum Science and Technology (IQY 2025), das die Vereinten Nationen ausgerufen hatten, ging es explizit auch um Wirkung auf Gesellschaft, Wirtschaft und Zukunftsfähigkeit.

Genau in dieser Spannung – zwischen technischer Reife, politischer Strategie und gesellschaftlichem Nutzen – habe ich auf der 48forward-Konferenz 2025 mit Dr. Jan Goetz, Mitgründer und Co-CEO von IQM Quantum Computers, gesprochen. Was mich an Jan interessiert: Er argumentiert nicht aus der Distanz einer reinen Forschungsperspektive, sondern aus dem Maschinenraum eines Unternehmens, das Quantencomputer tatsächlich baut, ausliefert und betreibt.

Dieser Beitrag ist bewusst kein Transkript. Ich möchte vielmehr die zentralen Aussagen aus meinem Gespräch mit Dr. Jan Goetz redaktionell verdichten, einordnen und mit einer Fragestellung verbinden, die für den Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) und ein Quantum-Whitepaper besonders relevant ist: Welche gesellschaftliche und wirtschaftliche Verantwortung entsteht, wenn Quantencomputing von der Theorie in die Praxis rückt – und was müssen Unternehmen heute konkret tun?



**„Produkt“ statt Mythos:  
Warum der Schritt aus dem Labor  
politisch wird.**

Die vielleicht wichtigste Beobachtung aus dem Gespräch ist gleichzeitig die unromantischste: Quantencomputing wird gerade entzaubert – und genau das macht es gefährlich relevant. Jan beschreibt, warum IQM nicht als „Uni-Projekt“ funktionieren konnte: Grundlagenforschung ja, aber System Engineering und industrielle Skalierung seien eine andere Disziplin. Daraus folgte bei IQM früh der Anspruch, nicht nur Paper zu produzieren, sondern Hardware als Produkt.

Diese Produktlogik zeigt sich in Details, die man selten in Hype-Debatten hört: IQM investiert in Fertigung, arbeitet mit klassischen Halbleiterprozessen, baut eine Assembly-Line und betreibt Systeme so, dass sie im Rechenzentrumsumfeld stabil laufen.

Für mich ist das mehr als eine Unternehmensstory. Sobald eine Technologie als „Produkt“ in kritische Infrastrukturen wandert, entsteht automatisch eine gesellschaftliche Dimension: Wer kontrolliert Zugang? Wer setzt Standards? Wer trägt Verantwortung für Sicherheit und Resilienz? Genau deshalb diskutiert Europa nicht nur Forschung, sondern zunehmend auch Souveränität – und bereitet politische Instrumente wie einen Quantum Act vor.



**Erst On-Premise, dann Cloud:  
Eine Strategie gegen  
den Vertrauensverlust**

Eine Stelle im Gespräch fand ich bemerkenswert, weil sie das übliche Cloud-Narrativ umdreht. IQM ist – vereinfacht – erst den Weg über On-Premise-Systeme gegangen und später in die Cloud. Jan begründet das mit einem Vertrauensargument: Wer sehr früh alles „für jedermann“ öffnet, macht jeden Instabilitätsmoment öffentlich sichtbar – und riskiert Frustration bei Anwendern. Deshalb habe IQM zunächst mit Partnern gearbeitet, die ein Eigeninteresse haben, die Systeme gemeinsam produktreif zu machen.

Er nennt auch eine Größenordnung: zwischen 15 und 20 bereits an Partner ausgelieferte Systeme (zum Zeitpunkt des Gesprächs). Zudem formuliert er den Anspruch, dass Maschinen hunderte Tage laufen können, ohne dass ständig Physiker\*innen eingreifen müssen.

Das ist ein harter Satz für alle, die Quantencomputing nur als „Forschungsspielzeug“ betrachten. Gleichzeitig hilft ein Realitätscheck aus einer zusätzlichen Quelle: IQM selbst meldete 2024 einen Produktionsmeilenstein von 30 Full-Stack-Quantencomputern. Das ordnet ein, wie klein die absoluten Stückzahlen im Vergleich zur klassischen IT noch sind – und wie groß zugleich die noch ausstehenden Schritte in Richtung Industrialisierung.

**Dr. Jan Goetz**  
IQM Quantum  
Computers



Der Technikteil, den wir nicht überspringen dürfen: Qubits, Fehlertoleranz, Software-Stack

Wenn wir über gesellschaftliche Relevanz sprechen, dürfen wir die Technik nicht wegmoderieren. Sonst wird Quantum wieder zu reinen Mystik oder zu nichts weiter als Marketing.

Jan beschreibt Quantencomputer als „widerpenstige Biester“: Parameter fluktuieren, Systeme müssen kontrolliert und stabilisiert werden – und hier spielt Machine Learning in der Entwicklung und im Betrieb eine Rolle (z. B. beim Chip-Design oder in der Kontrollsoftware, die Drift kompensiert).

Mindestens genauso wichtig ist seine Diagnose zum Software-Stack: Heute ist vieles noch so roh, dass Expert\*innen mit tiefem Quantum-Know-how gebraucht werden. Jan nennt das zuge-spitzt das „Double-PhD-Problem“: Man bräuchte zugleich Domänenexpertise (z. B. Pharma, Logistik, Finance) und Quantenexpertise – und diese Profile sind selten. Der Ausweg liegt für ihn in Abstraktion: Compiler, Middleware, Tools, die Quantenhardware so kapseln, dass Nutzer\*innen aus den Anwendungsbranchen nicht gleichzeitig Physiker\*innen sein müssen.

Das ist der Punkt, an dem Digitale Wirtschaft sofort andocken kann: Wer Software-Stacks, Developer Experience, Security-by-Design und skalierbare Plattformlogik beherrscht, wird im Quantum-Ökosystem nicht Zuschauer bleiben.



**„Proof of Concept“ ist kein Scheitern – sondern die Phase, in der sich Gewinner formen**

Auf die drängende Frage „Welche Anwendungen funktionieren heute schon?“ antwortet Jan eher nüchtern: In der Industrie sieht er häufig noch Proof-of-Concept-Stadium: Portfoliooptimierung oder Logistik funktionieren in kleinen Testproblemen – aber nicht in voller Produktionsgröße.

Diese Ehrlichkeit ist wichtig, weil sie die Erwartungshaltung korrigiert: Quantencomputer sind kurzfristig nicht einfach „schnellere Rechner“, die man in bestehende Workflows stößelt. Sie sind eher ein neuer Rechenmodus für neue Problemklassen: Also bei denen klassische Systeme entweder zu langsam werden – oder deren Lösungsraum so groß ist, dass die Fragen bisher noch gar nicht gestellt werden konnten.

Und hier kommt – wie ich finde – Jans stärkster Gedanke: Der eigentliche Sprung durch Quantencomputer liegt nicht darin, heutige Probleme schneller zu lösen, sondern darin, Probleme lösen zu können, die wir heute noch nicht einmal auf der Agenda haben. Also, hier als kulturelle Frage formuliert: Welche Probleme wagt eine Gesellschaft zu lösen, wenn Berechenbarkeit entsteht, wo vorher nur Unschärfe war?

Mobilität, Energie, Chemie: Wo gesellschaftlicher Nutzen konkret werden kann

Wenn ich einen gesellschaftlichen Schwerpunkt setzen soll, dann hier: Quantencomputing ist nicht nur eine neue IT-Kategorie, sondern potenziell ein Werkzeug, um Systeme mit realen Externalitäten zu verändern – Energieverbrauch, Emissionen, Ressourcenknappheit, Versorgungssicherheit.

Hier gehen wir auf zwei Wirkungsebenen ein:

## 1. DIREKTER IMPACT

### Energiebedarf von Computing

Er kontrastiert die lineare Skalierung klassischer Rechenzentren (mehr Leistung = mehr Fläche/mehr Strom) mit der Idee, dass Quantenleistung mit wachsender Prozessorgöße nicht linear zulegt. In einer Zeit, in der KI-Rechenzentren gigantische Strombedarfe treiben, ist das mindestens ein strategisches Argument, auch wenn Quantencomputer ihrerseits komplexe Kühlinfrastruktur brauchen.

## 2. INDIREKTER IMPACT

### Bessere Modelle → Bessere Prozesse

Sein Beispiel ist die Chemie hinter energieintensiven Verfahren wie dem Haber-Bosch-Prozess. Wenn Simulationen und Materialmodelle besser werden, könnten langfristig Prozesse entstehen, die bei geringerer Temperatur, geringerem Druck oder mit anderen Katalysatoren arbeiten – also mit realem CO<sub>2</sub>-Hebel. Jan verweist hier auch auf Impact-Rechnungen und einen Investor (World Fund), der genau solche Hebel bewertet.

Das Entscheidende: Wir müssen gesellschaftlichen Nutzen nicht als PR-Schleife erzählen, sondern als Forschungs- und Investitionsagenda definieren: Welche Missionen (Energie, Mobilität, Gesundheit, Ernährung, Industrieprozesse) verdienen Priorität, weil sie mit klassischer IT an Grenzen stoßen?



Der Sicherheitsteil in unserem Gespräch ist der, bei dem ich am stärksten gespürt habe: Das ist nicht nur Tech-Talk, das ist Governance.

Jan erklärt die Bedrohungslinie über den Shor-Algorithmus (Faktorisierung großer Zahlen in Polynomialzeit), der RSA und verwandte Public-Key-Verfahren prinzipiell angreifbar macht, sobald es ausreichend große, fehlertolerante Quantencomputer gibt.

Zur historischen und technischen Einordnung: Shor veröffentlichte den Algorithmus 1994, und die praktische Umsetzbarkeit hängt wegen Fehlerkorrektur typischerweise von sehr großen Qubit-Zahlen ab.

Der gesellschaftliche Kern steckt in einem Begriff, den Jan dann auch explizit nennt: „Store now, decrypt later“ – also Daten heute abgreifen und später entschlüsseln, sobald die Rechenfähigkeit da ist.

Für die Digitale Wirtschaft heißt das: Post-Quantum-Security ist kein „wir kümmern uns, wenn’s soweit ist“, sondern ein mehrjähriges Transformationsprogramm. Und es ist politisch bereits adressiert: In Europa wird jetzt schon über Roadmaps und Fristen diskutiert, wie der Übergang in quantensichere Kryptografie umgesetzt werden soll.

Quantencomputing ist zugleich Innovationschance und Sicherheitsdruck. Wer die Chance nutzen will, muss den Druck managen.

Zu Europa: Stark in Talent, schwach in Skalierung – und genau hier entscheidet sich Souveränität

Jan sagt im Gespräch einen Satz, der in Brüssel und Berlin hängen bleiben sollte: Europa sei bei Talent und Forschung gut aufgestellt, aber gefährdet durch Fragmentierung. Viele Labs, viele Spin-offs, viele Einzelinitiativen – während anderswo wenige Player bereits sehr groß sind und dann weiter einkaufen.

Seine Diagnose findet sich auch in der öffentlichen Debatte wieder: Die EU hat 2025 eine Quantum-Strategie kommuniziert und zugleich betont, dass private Finanzierung in Europa im globalen Vergleich zu schwach ist – und dass Start-ups anfällig sind, übernommen zu werden oder abzuwandern.

Genau hier wird der erwartete Quantum Act relevant: nicht als Symbol, sondern als Antwort auf ein Strukturproblem – Koordination, Förderung, Infrastruktur, Skalierung. Der EU-Legislative-Train führt den Quantum Act als Vorhaben für 2026.

Für Deutschland und für den BVDW bedeutet das: Wir dürfen Quantum nicht als zur „Forschungspolitik“ abheften. Es ist Industriepolitik, Digitalpolitik und Sicherheitsstrategie zugleich.

Ich nehme aus dem Gespräch keine simple „Kauft Quantencomputer“-Botschaft mit. Ich nehme eine Agenda mit, die erstaunlich konkret ist:



Am Ende des Gesprächs frage ich Jan, ob wir als Gesellschaft etwas tun können. Seine Antwort ist überraschend bodenständig: offen sein, neugierig bleiben, sich nicht von der Aura des Unverständlichen abschrecken lassen.

Quantum ist keine reine Technologie – sondern ein gesellschaftlicher Einflussfaktor, den wir jetzt gestalten müssen

Wir sollten über Quantum nicht nur als Technologie reden, sondern als gesellschaftlichen Einflussfaktor, der Energie, Sicherheit, Industrie, Bildung und Souveränität berührt – und dessen Potenzial nur dann positiv wirkt, wenn wir jetzt die richtigen Voraussetzungen schaffen: Kompetenzen, Infrastruktur, Standards, Investitionen und eine klare Migrationsstrategie für Sicherheit.

## WAS UNTERNEHMEN JETZT TUN SOLLTEN: Fünf Handlungsfelder für die Digitale Wirtschaft

### 1 Quantum Literacy aufbauen – ohne Mystik

Jan sagt sinngemäß: Quantenphysik ist nicht „Black Magic“, man kann sich dem Thema öffnen und es verstehen. Für Unternehmen heißt das: Schulungen, interne Formate, Partnerschaften mit Forschung und Anbietern – nicht erst, wenn ein Projekt brennt.

### 2 Use-Case-Portfolio definieren (nicht nur brainstormen)

Wer nur „Portfoliooptimierung“ sagt, hat noch keinen Use Case. Die Kunst liegt darin, Probleme zu identifizieren, die (a) geschäftsrelevant sind, (b) einen harten Kombinatorik- oder Simulationskern besitzen und (c) sich schrittweise in POCs zerlegen lassen.

### 3 Security-Migration starten (PQC) – unabhängig vom Quantum-Hype

Weil „Store now, decrypt later“ eine reale (nachhaltige?) Logik ist, müssen besonders kritische Datenflüsse priorisiert werden. Das ist klassische Transformationsarbeit: Inventarisierung, Kryptografie-Agilität, Roadmap, Lieferkette, Compliance.

### 4 Software-Stack als strategisches Feld begreifen

Wenn das „Double-PhD-Problem“ der Engpass ist, dann ist Abstraktion die Lösung – und das ist ein Terrain, das viele Digitalunternehmen beherrschen: Plattformen, Tooling, Developer Experience, Integration in Workflows.

### 5 Signalwirkung erzeugen: Ökosysteme brauchen Nachfrage

Jan sagt offen, wie wichtig der Buy-in großer Player ist – auch als Signal an Politik und Kapital. Für die Digitale Wirtschaft heißt das: nicht nur beobachten, sondern aktiv Pilotpartnerschaften, Konsortien und Förderlogiken mitgestalten.

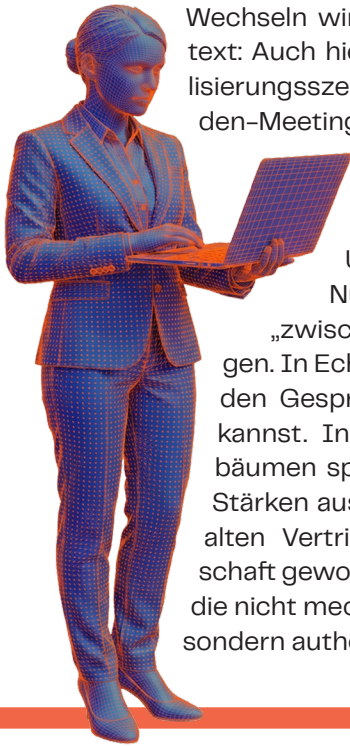




**S**tell dir vor: Du schlenderst durch die Stadt. Die Plakate um dich herum erwachen zum Leben, sobald du ihnen näherkommst. Sie erkennen dich sofort, wissen, was du zuletzt gekauft hast und was auf deiner Einkaufsliste steht. In Echtzeit verwandeln sie sich in persönliche Botschaften, die direkt an dich gerichtet sind. Über deine Datenbrille interagierst du mit ihnen, stellst Fragen oder wechselst das Thema. Die Konversation folgt dir nahtlos von Plakat zu Plakat, während du weitergehst. Jedes digitale Medium, das dich umgibt, ist vollständig personalisiert. Magazinartikel überspringen Erklärungen, die du längst kennst. Jede Anzeige ist ein Unikat für dich und bleibt dennoch unverkennbar ihrer Marke treu. Jedes Storytelling-Element passt sich perfekt deinen Interessen an, ohne die krea-

tive Handschrift seiner Schöpfer zu verlieren. Billionen von Datenpunkten werden in Millisekunden verbunden. Und das alles nur für dich.

Dieses Szenario kommt dir bekannt vor? Im Film „Blade Runner 2049“ ist es eine düstere Zukunftsvision. Beim Schreiben spüre ich meinen Widerwillen, denn diese Form der extremen Personalisierung impliziert – gerade in Europa – auch eine Form der invasiven Überwachung. Tatsächlich könnte sie durch die Verbindung von KI und Quantentechnologie Realität werden. Der feine Unterschied zum Film ist jedoch, dass wir heute noch die Chance haben, aus der Dystopie eine Utopie zu formen und echte Mehrwerte für uns alle zu schaffen.



Wechseln wir dazu in den Business-Kontext: Auch hier lassen sich neue Personalisierungsszenarien denken. Vor dem Kunden-Meeting hat dein digitaler Assistent nicht nur alle E-Mails und Interaktionen verarbeitet, sondern auch emotionale Untertöne erfasst, kulturelle Nuancen bewertet und alles „zwischen den Zeilen“ mit einbezogen. In Echtzeit passt der Assistent nun den Gesprächspfad an, den du gehen kannst. In komplexen Entscheidungsbäumen spielt die Quanten-Engine ihre Stärken aus. Aus dem „Bauchgefühl des alten Vertriebshasen“ ist eine Wissenschaft geworden. Aber eine Wissenschaft, die nicht mechanisch oder künstlich wirkt, sondern authentisch und menschlich.

Beide Szenarien, der personalisierte Konsum und der personalisierte Vertrieb, wirken für mich greifbar. Sie scheinen direkte Fortsetzungen dessen zu sein, was wir heute bereits technologisch erleben. KI, Data-Lakes, Agents und eine fast vollständig digitale Customer Journey existieren bereits und werden angewendet. Wenn wir nicht nur die nächsten Technologiesprünge extrapolieren, sondern auch berücksichtigen, dass die Adaption in der Praxis rapide zunehmen wird, stellt sich die Frage: Haben wir nicht schon alles, was wir brauchen? Für was brauchen wir noch Quantencomputer?

Erstmal müssen wir die schiere Menge an Datenpunkten verstehen, die wir bereits generieren. Und das pro User. Nehmen wir allein das Surfverhalten, Event-Tracking und Kommunikationsdaten und verbinden es mit allen relevanten Metadaten aus den Produktstammdaten, dem ERP-System, dem CRM-System oder anderen Systemen, erhalten wir eine unvorstellbare Zahl an Datenpunkten. Diese lassen sich wiederum zu einem Set aus hunderten oder tausenden von Attributen verdichten. Der aktuelle Ansatz ist es, diese Attribute zu User-Segmenten zusammenzuführen und damit persönliche Kommunikation anhand definierter Journeys auszusteuern. Aber dieser Ansatz ist keine echte Personalisierung, sondern nur feiner granuliert Massenkommunikation. Wenn wir über echte Personalisierung sprechen, steigt die Zahl der Variablen und Datenpunkte exponentiell weiter an. Und damit steigen auch die Anforderungen an die Rechenleistung sowie vor allem an die Geschwindigkeit, in der diese erbracht wird. Zumal wir nicht

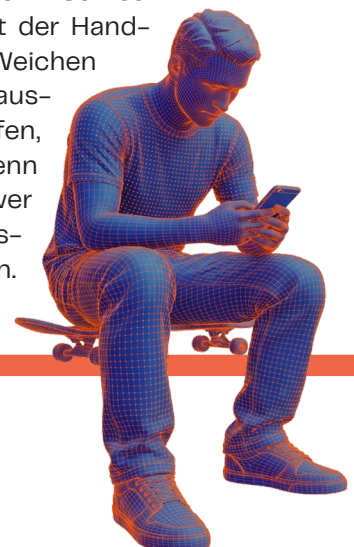
nur von einem einzigen User sprechen, sondern möglicherweise von Millionen, die sich in verschiedensten Kontexten durch die Customer Journey bewegen.

Womit wir bei den Limitierungen aktueller KI-Technologien wären. Nicht nur sind neuronale Netze heute oft nicht so effektiv wie gedacht, weil sie ihre Parameter nicht oder redundant nutzen. Die Context Windows, und zwar die, die wirklich verwendet werden, sind zu klein und die Analysefähigkeiten bei komplexen Datenkorrelationen oft zu begrenzt. Und wenn die Personalisierung auch noch in Echtzeit erfolgen soll (wir erinnern uns an unseren Stadtspaziergang), reicht es halt nicht aus, wenn das Reasoning-Model noch sieben Sekunden nachdenken muss.

Dazu kommt noch ein qualitatives Problem: Der Output von KI ist heute oft klar als solcher erkennbar. In vielen Fällen mag das akzeptabel sein. Aber eine echte Marke, die eigenständig, kreativ und frisch kommunizieren möchte, muss einen anderen Anspruch anlegen. Wenn die Vision stimmt, dass personalisierte Kommunikation zukünftig die einzige Form der Kommunikation sein wird, dann muss die KI ihre Fähigkeiten zur Produktion und Reproduktion mit Anspruch und Wertigkeit verbinden. Personalisierte Kommunikation kann keine Wegwerfkommunikation sein, wenn sie Anerkennung finden möchte.

Nehmen wir die Herausforderungen rund um Qualität, Geschwindigkeit und Datenanalyse zusammen, dann können wir sicher sagen: Echte Personalisierung ist ein „Large Problem“. Und damit genau richtig für die Quantencomputer, die wir am Horizont bereits grob erkennen können.

Die neuen Algorithmen, die mit Quantum entstehen werden, bieten auch das Potenzial, Personalisierung neu zu denken. So unklar diese Zukunft noch sein mag, so schwer wir uns die Konzepte rund um Quantum heute noch vorstellen können: So sehr öffnet sich gerade jetzt der Handlungsraum, um die Weichen zu stellen. Die Voraussetzungen zu schaffen, um ready zu sein, wenn wir die Quantum-Power in den Kommunikationsalltag holen können.



Auch wenn das Zielbild sehr futuristisch erscheinen mag, sind die Handlungsfelder sehr gegenwärtig. Und das Schöne dabei ist: Wer gerade mit vollem Eifer dabei ist, die Organisation „KI-First“ zu machen, macht sie an vielen Stellen auch „Quantum-Ready“.

Dabei stehen zuerst der Mensch und die Organisation im Mittelpunkt. KI wird gerade im Quantum-Zeitalter das entscheidende UI sein. Prompts und Kontexte zu entwickeln, sie in Agents zu orchestrieren und mit Workflows zu automatisieren, ist ein Handwerk, das wir weiter ausbauen müssen. Ob die KI im Hintergrund auf Quantum-Tools zugreift oder nicht, ist eine Abstraktion, die uns vielleicht nicht kümmern muss. Genauso, wie wir Software immer stärker über Spezifikationen schreiben und immer weniger über Code.

In diesem Zuge sollten auch die Fähigkeiten zur Analyse und Ableitung von komplexen Daten ausgebaut werden. Und schlussendlich müssen die Organisationssilos aufgesprengt werden – dieses Mal aber wirklich.

Jedes Team ist mit KI heute ein Technik-Team. Entlang der Customer Journey muss die Brücke zwischen Idee, Umsetzung und Iteration agil und produktionstauglich geschlagen werden können. Dazu braucht es die richtigen Tools – und Deployment-Fähigkeiten.

Was wiederum bedeutet, dass sich die Tech-Stacks radikal wandeln werden. Ja, es braucht eine professionelle Customer Data Platform (CDP) und eine Strategie für First-Party-Daten. Ja, es braucht granuliertes Event-Tracking. Ja, es braucht Governance für alle Daten und Querverbindungen zwischen allen Datentöpfen. Aber da ist mehr: KI ist das neue Betriebssystem eines Unternehmens. Jeder Use-Case muss zum Agenten werden. Alle Systeme und Wissensbasen müssen an die KI angeschlossen werden.

Dazu braucht es eine einheitliche API-Schicht und eine konsequente Strukturierung des Unternehmenswissens. Gleichzeitig müssen alle Unternehmensaktionen in Software gepackt werden, um sie, beispielsweise über MCP-Server, für Agenten zu öffnen. Und es braucht auch smartere Ansätze, um KI mit menschlicher Kreativität in hy-

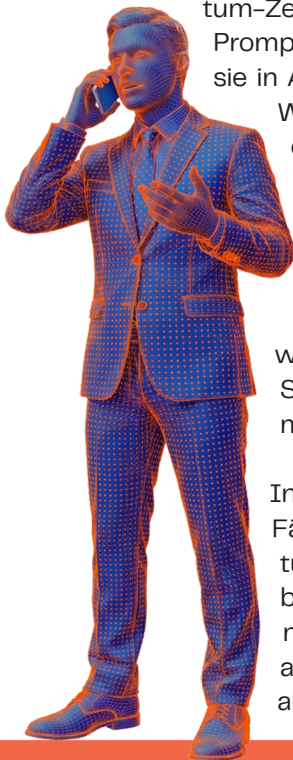
briden Workflows zu verschränken. All dies geschieht parallel, während wir die Komplexität unserer Use-Cases in der Umsetzung steigern. Jede Marke muss jetzt Guidelines etwa für visuelles Design, für Sprache, für Sales Argumentationen, für Service Dokumentation in eine Form bringen, sodass sie von der KI adaptiert werden können. Zusammen mit dem Upskilling und der technischen Infrastruktur können wir dann nach und nach die Personalisierungs-Schraube weiter anziehen.

Wir können uns von der Varianten-Produktion weiterentwickeln zu ersten Experimenten in der Echtzeit-Produktion von Assets. Dazu sammeln wir mit den heutigen Tools Erfahrungen, während wir mit unserem Feedback den Markt weiter nach vorne pushen. So beginnen wir Schritt für Schritt die neue Komplexität in der Kommunikation zu verstehen.

Die Zeit dafür ist jetzt. KI schafft ein gutes Gefühl von Dringlichkeit. Weil mit Quantum schon die nächsten Innovationen und Disruptionen vor der Tür stehen, ist es umso beruhigender, dass die Voraussetzungen und das Mindset die gleichen bleiben. Auch wenn es noch etwas dauern mag, bis die Plakate im Vorbeigehen mit uns sprechen: Mit der Skalierung unserer Datenpunkte fangen wir jetzt schon an.

Autor:

**Georg Obermayr,**  
Technical Evangelist,  
schalk&friends



# QUANTUM ALS SUPERPOSITION

## Wer investiert, wie viel und warum jetzt?

**E**s geht nicht um die Finanzierung eines real gewordenen Hollywood-Science-Fiction-Actionstreifens, sondern um Standortpolitik und handfeste Industriewetten. 2024 floss in Quanten-Start-ups weltweit so viel privates Geld wie nie zuvor: über 2 Mrd. US-Dollar. Den größten Brocken bekamen Quanten-Hardwarefirmen (ca. 1,6 Mrd. US-Dollar), dahinter folgten Quanten-Softwareanbieter (ca. 0,62 Mrd. US-Dollar). 2025 setzt den Trend fort, doch das Kapital konzentriert sich auf wenige, reifere Akteure. Kein Laserschwert, sondern Lastenheft. [1] Kein Warpantrieb, sondern Werkvertrag.

Drei Gruppen treiben das Feld voran. Erstens große Fonds und Spätphasen-VCs: PsiQuantum sammelte im September 2025 1 Mrd. US-Dollar für den Bau standortgebundene ‚Utility-Scale‘-Rechner – Namen wie BlackRock, Temasek oder NVentures belegen, dass diese Wette im Kapitalmarkt-Mainstream angekommen ist. [2] Quantinuum, Entwickler\*innen eines der derzeit leistungsstärksten Quantencomputer: Honeywell kündigte kurz zuvor eine Kapitalerhöhung über 600 Mio. US-Dollar an; die Bewertung stieg prompt auf

10 Mrd. US-Dollar. [3] Beides sind starke Signale: Das große Geld finanziert nicht mehr nur Forschung, sondern auch Fabriken, Lieferketten und Testzentren.

Zweitens: die Industrie. Banken, Pharma, Halbleiter- und Softwarekonzerne kaufen sich gezielt Zugang: zu IP, Roadmaps und Talenten. In der Quantinuum-Runde steckten u. a. JPMorgan, Mitsui und Amgen. JPMorgan Chase’s Global CIO Lori Beer kommentierte: „Finanzdienstleistungen gelten als eine der ersten Branchen, die von Quantentechnologien profitieren werden.“ [3] Die Integration in echte Geschäftsprozesse ist Teil der Wette, nicht bloß PR.

Drittens: der Staat. Australien und Queensland stellen zusammen 620 Mio. US-Dollar für ein PsiQuantum-Rechen-System in Brisbane bereit. [5] In den USA entstand in Chicago der Illinois Quantum & Microelectronics Park – mit PsiQuantum als Anker und einem DARPA-Benchmark-Programm, [4] um die Leistung von Quantenalgorithmen und -anwendungen in großem Maßstab quantitativ zu bewerten. In Europa verweist die EU auf > 11 Mrd. € öffentliche Mittel in fünf Jahren, räumt aber selbstkritisch ein: Nur ca. 5 % des weltweiten Privatkapitals für Quantum landet bislang in Europa. [6]

Deutschland hat seit 2020 rund 2 Mrd. € in Quantentechnologien zugesagt; zusätzlich finanziert das BMWK die DLR-Quantencomputing-Initiative mit 740 Mio. € als gezieltes Beschaffungsprogramm, Bayern legt mit dem Munich Quantum Valley 300 Mio. € Landesmittel nach. Mit Projekten wie QSolid (76,3 Mio. €) sowie Testbeds und Rechenzentren in Jülich, München und Ehningen setzt die Politik auf öffentliche Ankerkunden, damit private Folgeinvestitionen leichter werden. Die offene Flanke bleibt Wachstums- und Spätphasenkapi-

Autor:

**Fynn Schulze,**  
Innovation-  
Manager /  
Lead DMEXCO,  
BVDW



tal: Trotz hoher Fördermittel ist privates Geld in Europa knapper als in den USA – Berlin und die Länder versuchen, diese Lücke über Beschaffung und Co-Invests zu schließen.

### **Weniger Zaubertricks, mehr Qualitätsmanagement: Der Markt wird erwachsen**

Die großen Schecks fließen aktuell in die Skalierung: mehr Qubits, vor allem aber stabilere Qubits. Wer das Stichwort „Fehlerkorrektur“ bislang überblättert hat: Es bedeutet, dass die Quantencomputer nicht nur schnell rechnen, sondern verlässlich dieselbe richtige Antwort liefern. Genau dafür werden in Chicago und Brisbane neue Anlagen gebaut. [4,5] Parallel wächst das operative Geschäft: McKinsey schätzt die Umsätze der Quantencomputing-Unternehmen 2024 auf 650–750 Mio. US-Dollar; 2025 dürfte die Milliarde fallen. [1] Für eine junge Industrie ist dieses Jahr ein Wendepunkt: weg von Vision-Decks, hin zu bezahlten Leistungen. Kurz gesagt: weniger Zaubertricks, mehr Qualitätsmanagement.

### **Internationales Quanten-Jahr: Der Startschuss für die industrielle Ära?**

Passend benennen die Vereinten Nationen das Jahr 2025 zum Internationalen Quantum-Jahr – nicht nur zur Feier des 100-jährigen Jubiläums der Quantenmechanik. Warum 2025? Weil Politik und Kapital bereit sind, vom Forschungsplakat in die Fabrikhalle zu ziehen.

Erstens: Souveränität und Sicherheit: Post-Quanten-Kryptografie, Schutz industrieller IP, resilientere Lieferketten – Regierungen und Konzerne wollen nicht warten, bis andere Standards setzen. Darum entstehen Parks, Förderpakete und Beschaffungswege, die explizit privates Kapital hebeln sollen. [1]

Zweitens: der Reifegrad der Ideen: Zwei Spätphasen-Player zogen 2024 bereits die Hälfte der weltweiten Quantum-Investments auf sich. [1] Kapital folgt Roadmaps mit überprüfbaren Meilensteinen statt vager Versprechen.

Drittens: Wirtschaftslogik: Wo Piloten in Chemie, Pharma, Finanzen oder Logistik echte Vorteile zeigen,

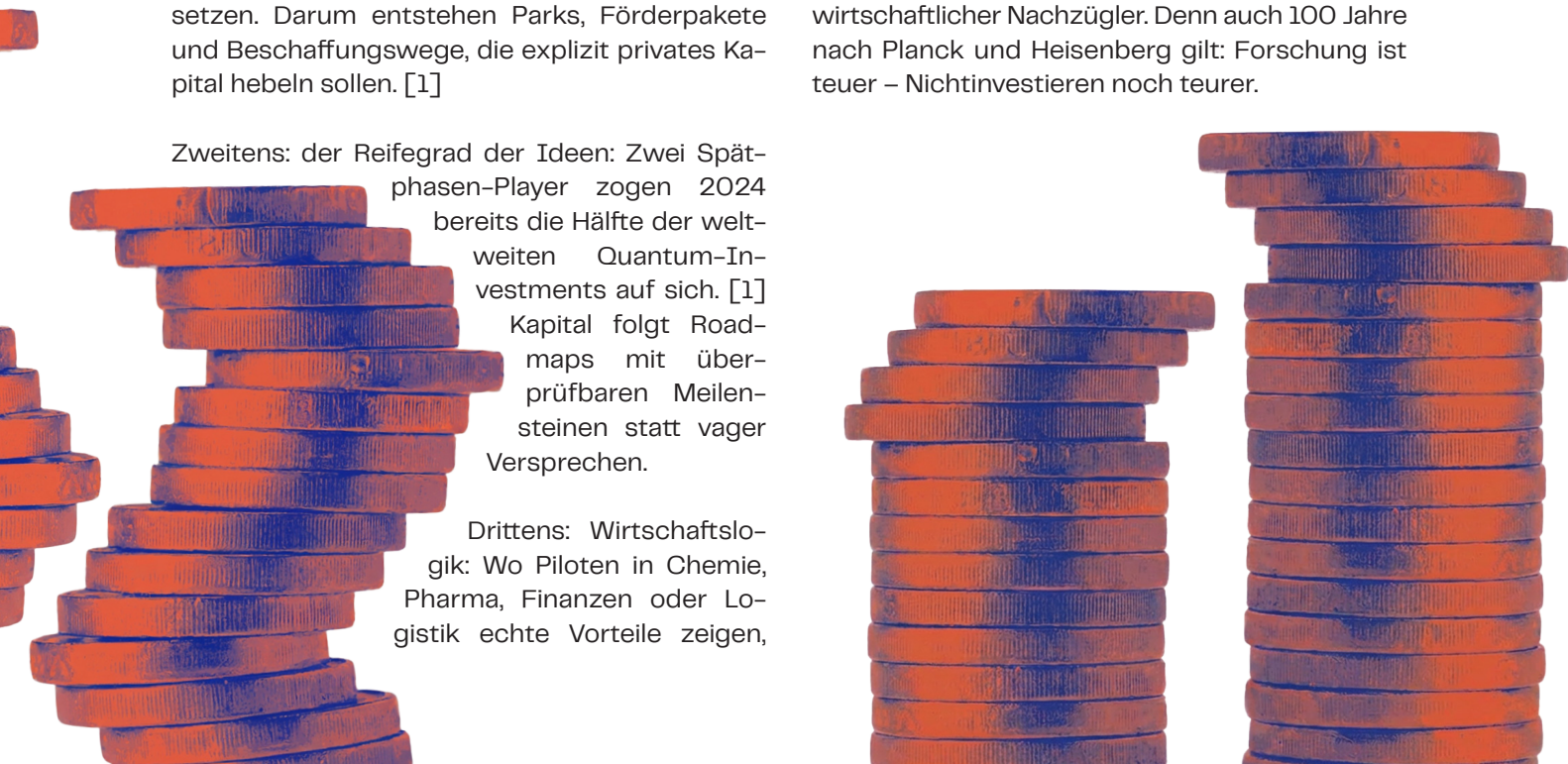
rücken Einkaufs- und IT-Budgets nach. Selbst börsennotierte Anbieter wie IonQ steigerten 2024 die Erlöse deutlich [7] – für Gewinn reicht das noch nicht, doch zahlende Kundschaft ist und bleibt ein belastbares Marktsignal.

### **Wo der digitale Nutzen wirklich liegt**

Aber was heißen diese Investitionen für unsere eigene Digitale Wirtschaft? Für Entscheider\*innen ohne Quanten-Hintergrund ist die Regel simpel: Nicht überall mitreden, sondern dort anfangen, wo der Nutzen nah ist. Das sind heute hybride Workflows für Material- und Chemiesimulation, Optimierungen in Produktion und Verkehr sowie Sicherheits-Upgrades rund um Post-Quanten-Kryptografie. Fragen Sie bei Anbietern nach drei Dingen: Benchmarks (offen und nachvollziehbar), Zeit bis zum Pilotprojekt im Fachbereich, Pfad zur Fehlerkorrektur. Wer darauf klare Antworten hat, ist investierbar – ob als Lieferant oder als Partner.

### **Europa in der Superposition: Hoffnungsträger oder Nachzügler?**

Unterm Strich: Das Quantum-Geld ist zurück und sucht Tiefe statt Breite. Die großen Runden bei PsiQuantum und Quantinuum zeigen, wo die Reise hingehet: von der Demo zum industriellen Betrieb. Europa hat mit öffentlichen Mitteln vorgelegt, muss jetzt aber privates Kapital mobilisieren – denn trotz des Wachstums der letzten Jahre machen Investitionen in Quantum-Technologie nach wie vor nur einen winzigen Bruchteil der gesamten Risikokapitalfinanzierung aus (< 1 %). [1,6] Ohne diesen Zugang zu privatem Kapital bleibt Europa in einer Superposition: zugleich wissenschaftlicher Hoffnungsträger und wirtschaftlicher Nachzügler. Denn auch 100 Jahre nach Planck und Heisenberg gilt: Forschung ist teuer – Nichtinvestieren noch teurer.





## Kapitel 3

# FORESIGHT

Wohin führt das  
Quantum Zeitalter?

# QUANTENMACHT:

## Wenn Technologie zur geopolitischen Waffe wird



Von außen wirkt es wie ein akademischer Wettstreit. Physiker\*innen und Ingenieur\*innen in weißen Kitteln, die sich mit Kühlaggregaten und supraleitenden Schaltkreisen abmühen, um wenige zusätzliche Qubits stabil zu halten. Doch hinter den Glaswänden der Labore wird ein Wettlauf ausgetragen, dessen Ausgang die globale Machtordnung verschieben könnte – ähnlich wie einst die Entwicklung der Atombombe.

### Die stille Aufrüstung

Die Vereinigten Staaten haben bereits 2022 ein nationales Quantenprogramm mit einem Budget von 1,2 Milliarden Dollar beschlossen, flankiert von massiven Investitionen der Tech-Konzerne.

China wiederum hat im gleichen Zeitraum ein Quantenforschungszentrum für zehn Milliarden Dollar errichten lassen – in Hefei, einer Provinzhauptstadt, die bislang kaum jemand kannte. Europa liegt mit dem „Quantum Flagship“, einem Förderrahmen von einer Milliarde Euro, im internationalen Vergleich zurück, punktet aber mit Grundlagenforschung und einer starken akademischen Landschaft.

Es ist ein Ungleichgewicht, das sich verschärfen könnte: Während Washington und Peking zugleich militärische Anwendungen verfolgen, ringt Brüssel noch um gemeinsame Standards und den Schutz intellektuellen Eigentums.

Autorin:

**Kim Karina Hauber,**  
Trend- und  
Zukunftsforscherin

### Cybersecurity unter Vorbehalt

Das zentrale Problem ist die Kryptographie. Die digitale Welt baut auf Verfahren, die als „unumstößlich“ galten – RSA, elliptische Kurven, Public-Key-Systeme. Ihre Sicherheit beruht auf der Schwierigkeit, riesige Zahlen zu faktorisieren oder diskrete Logarithmen zu berechnen. Für klassische Computer ein Ding der Unmöglichkeit. Für Quantencomputer hingegen – dank des Shor-Algorithmus – eine lösbare Aufgabe.

Der entscheidende Punkt: Schon ein Quantencomputer mit rund einer Million stabiler Qubits könnte sämtliche gängigen Verschlüsselungen in vertretbarer Zeit brechen. Heute liegen die Rekorde noch bei einigen Hundert Qubits. Doch die Fortschritte sind stetig, und die Erfahrung aus anderen Technologien lehrt: Der Sprung vom Laborprototypen zum einsatzfähigen System kann schneller erfolgen, als wir ahnen.

### „Harvest now, decrypt later“

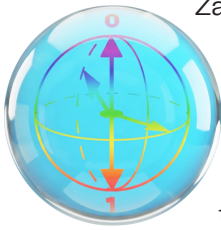
Geheimdienste handeln längst, als sei das Szenario real. Der Ansatz lautet: sensible Daten heute abfangen, verschlüsselt speichern und später mit Quantenrechnern entschlüsseln. Diplomatische Depeschen, militärische Lageberichte, Finanztransaktionen – Informationen, die in zehn oder fünfzehn Jahren noch wertvoll sein können. Ein Land, das frühzeitig Quantenüberlegenheit erlangt, würde auf einen Schatz bislang unzugänglicher Datenberge zurückgreifen können.

### Machtasymmetrien als Risiko

Die geopolitische Brisanz liegt nicht nur im Entschlüsseln. Ebenso gefährlich ist das Entstehen einer doppelten Asymmetrie: Wer einen Quantencomputer besitzt, kann sich durch „quantensichere“ Verfahren selbst schützen und zugleich die Kommunikation aller anderen kompromittieren. Ein solches Monopol auf Vertraulichkeit käme einer digitalen Hegemonie gleich.



Für Europa wäre das besonders heikel. Ein Abdriften der technologischen Souveränität könnte bedeuten, dass sensible Infrastruktur – vom Zahlungsverkehr bis zu Regierungsnetzen – von ausländischer Gnade abhängt. Schon heute warnen Expert\*innen der EU-Agentur für Cybersicherheit (ENISA), dass Post-Quanten-Kryptographie dringend implementiert werden müsse. Doch die Umstellung der Systeme, von Cloud-Architekturen bis zu Bankservern, ist ein Mammutprojekt, das Jahre dauern wird.



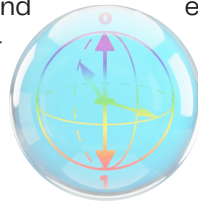
### Geheimdienste im Wettlauf

Dass Geheimdienste auf beiden Seiten des Atlantiks und Pazifiks das Thema priorisieren, gilt als sicher. In den vergangenen Jahren häuften sich Berichte über Cyberangriffe auf europäische Universitäten und Forschungszentren – mutmaßlich staatlich orchestriert. Der Verdacht: nicht nur Industriespionage, sondern gezielte Beschleunigung der eigenen Quantenprogramme durch das Abschöpfen von Wissen. Gleichzeitig treibt China nicht nur seine Quantencomputer-Forschung voran, sondern baut schon heute großskalige quantensichere Kommunikationsinfrastrukturen auf, die für staatliche, militärische und kommerzielle Zwecke genutzt werden könnten. China gilt international als Pionier im Bereich der quantensicheren Datenübertragung, etwa durch den Einsatz von Quantum Key Distribution (QKD)-Netzen über Tausende von Kilometern und durch die Integration von erdgebundenen Glasfaserstrecken mit quantenverschlüsselten Satellitenverbindungen – ein Netz, das heute zu den weltweit größten seiner Art zählt und über nationale Grenzen hinaus Bedeutung gewinnen könnte.

Aus Sicht westlicher Geheimdienste hat diese Entwicklung zwei Effekte: Einerseits könnten gesammelte Daten langfristig sicher transportiert werden, andererseits müsste der Aufbau solcher quantensicheren Kommunikationsnetze genauestens beobachtet werden, um strategische Abhängigkeiten und mögliche Angriffsvektoren zu identifizieren. Dieses Zusammenspiel von Spionage, Forschung und Infrastrukturentwicklung macht den Wettlauf nicht nur zu einem um Rechenleistung, sondern zugleich zu einem um digitale Kommunikationshoheit im 21. Jahrhundert.

### Ein denkbares Szenario

Ein fiktiver Tag im Jahr 2035. Land X verkündet, erstmals einen großskaligen Quantencomputer in Betrieb genommen zu haben. Wenige Stunden später ziehen Banken weltweit ihre Netze vom Netz, Kommunikationssatelliten werden in den Notfallmodus geschaltet, Regierungen verhängen digitale Ausgangssperren. Nicht, weil ein Angriff bereits stattgefunden hätte – sondern weil niemand mehr sicher sein kann, dass vertrauliche Kommunikation wirklich vertraulich bleibt.

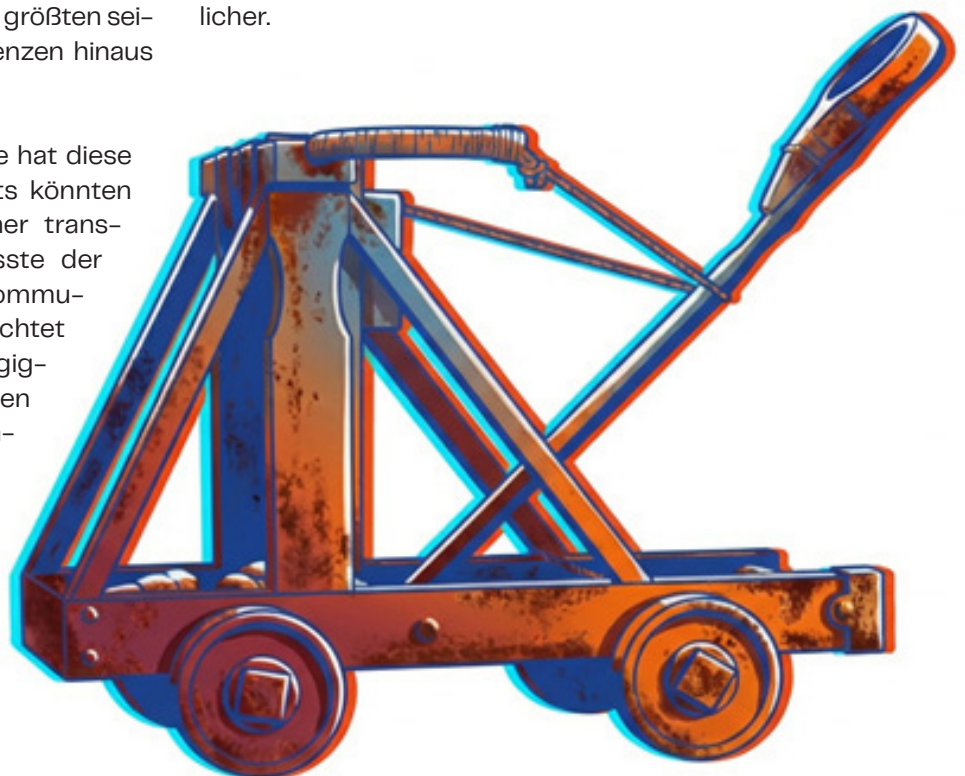
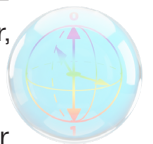


Was wie eine Dystopie klingt, ist für Fachleute längst keine reine Science-Fiction mehr. „Die entscheidende Frage ist nicht, ob Quantencomputer Verschlüsselung brechen werden“, sagt der Kryptographie-Experte Michele Mosca von der Universität Waterloo, „sondern wann.“

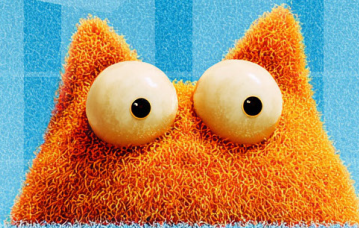
### Der Wettlauf gegen die Zeit

Um dem vorzubeugen, arbeitet das US-amerikanische NIST seit 2016 an neuen Standards für „post-quantenfähige“ Kryptographie. Erste Verfahren sind ausgewählt, Pilotprojekte laufen. Doch die weltweite Implementierung dürfte mindestens ein Jahrzehnt beanspruchen. Ein Zeitfenster, das gefährlich eng ist.

Das Machtungleichgewicht im Quantenzeitalter wäre kein klassisches Wettrüsten mit sichtbaren Sprengköpfen. Es wäre subtiler – ein Krieg um Unsichtbarkeit, um das Wissen, wer wem zuhört. Und gerade deshalb potenziell umso gefährlicher.



# RUNTER VON DER SPIELWIESE, RAUF AUF DIE BILANZ:



## Wo liegt der goldene Quantum-Hebel?



Autor:

**Fynn  
Schulze,**  
Innovation-  
Manager /  
Lead DMEXCO,  
BVDW

**I**n manchen Runden wird Quantencomputing oft noch als wissenschaftliche Spielwiese abgestempelt – sicherlich faszinierend, aber angeblich betriebswirtschaftlich ferne Zukunftsmusik. Das ist ein gefährlicher Trugschluss. Denn Fakt ist: Wir reden hier über das Potenzial der radikalen Optimierung von Margen und den Übergang in eine völlig neue Form des Wirtschaftens.

Genau an diesem Punkt setzt der BVDW an. Unser Anspruch ist es, Zukunftstechnologien

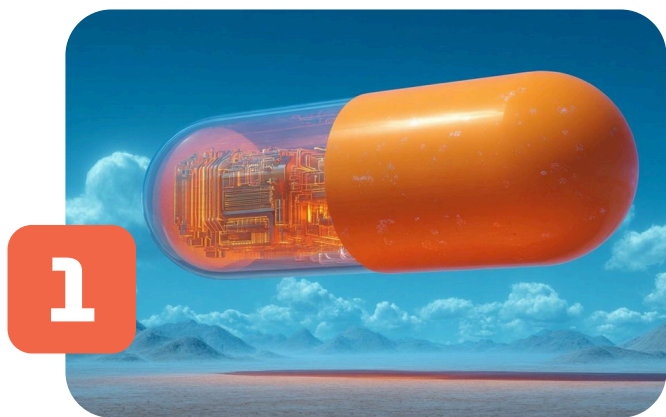
nicht isoliert technisch zu betrachten, sondern sie frühzeitig in ihren wirtschaftlichen, organisatorischen und marktstrategischen Auswirkungen zu durchdringen. Mit dem Einsatz des „Future Wheel“ als strukturiertem Explorationstool haben wir innerhalb eines gemeinsamen Workshops mit interessierten Mitgliedern bewusst eine Methode gewählt, die über lineare Prognosen hinausgeht. Das Future Wheel erlaubt es, erste, zweite und dritte Ordnungseffekte systematisch sichtbar zu machen und Wechselwirkungen zwischen Technologie, Markt, Geschäftsmodell und Organisation zu erfassen.

Ziel des Workshops war es daher nicht, kurzfristige Anwendungsfälle zu katalogisieren oder technologische Machbarkeiten zu bewerten. Vielmehr ging es darum, aus allen möglichen Zukünften, wünschenswerte Zukünfte zu antizipieren, um potenzielle Blue Oceans im datengetriebenen Wirtschaften zu identifizieren. Wo entstehen neue Werthebel, wenn klassische Rechenlogiken, Optimierungsgrenzen und Entscheidungsmodelle aufgebrochen werden. Wo verschieben sich Wettbewerbsparameter fundamental und wo liegt der Punkt, an dem Quan-

tencomputing vom Forschungsgegenstand zum strategischen Differenzierungsfaktor wird? Das Future Wheel dient dabei als Navigationsinstrument in einem hochgradig unsicheren Zukunftsraum. Für die Arbeit innerhalb der FIT Expert Group im BVDW ist es damit ein zentrales Werkzeug, um Diskurse zu strukturieren und der Digitalen Wirtschaft Zukunftsszenarien aufzuzeigen. Dieses Kapitel versteht sich als Einladung, Quantencomputing nicht länger als ferne Vision zu betrachten, sondern als strategischen Möglichkeitsraum. Wer heute beginnt, diese Zusammenhänge zu denken, verschafft sich morgen einen Vorsprung dort, wo Märkte noch nicht verteilt sind.

### Vom Optimieren zum Explorieren

Wir verlassen also die Ära der reinen Exploitation (das Bestehende optimieren) und gehen voll in die Exploration (der Mut zum Moonshot). Hier sind die fünf Gedankenexperimente, die zeigen, wo Quantencomputing den Unterschied machen könnte:



#### IP-Ökonomie: Rezepte statt Rohstoffe:

In der Materialforschung und Pharmaindustrie stoßen wir immer wieder an ökonomische Grenzen (beschrieben durch Eroom's Law). Die Entwicklung neuer Wirkstoffe kostet Milliarden, oft weil wir „trial and error“ im Labor betreiben. Unternehmen wie Schrödinger Inc. zeigen heute schon erfolgreich, wie „Computational Drug Discovery“ den Markt umkrempelt. Quantencomputing ist hier der nächste logische Turbo: Es simuliert molekulare Interaktionen dort, wo klassische Berechnungen kapitulieren (z. B. bei komplexen Enzymen). Das Ergebnis: Materials-as-a-Service. Verkaufen Unternehmen in Zukunft keine physischen Chemikalien mehr, sondern lizenzieren nur noch den molekularen Bauplan?

#### Hyper-Personalisierung:

Pricing the Unpriceable: Versicherungen verlieren jährlich Milliarden durch falsche Risikobewertun-



gen bei komplexen, kaum vorhersehbaren Ereignissen (z. B. Fat-Tail-Risiken). Quantencomputing hat das Potenzial, Muster in diesen Datenmengen zu erkennen, die klassischer KI entgehen. Das ermöglicht den Durchbruch der parametrischen Versicherung: Statt statischer Tabellen nutzen wir Live-Simulationen. Sobald ein Parameter (z. B. eine Kombination aus Wetterdaten und Lieferketten-Abriss) getriggert wird, erfolgt die Auszahlung automatisch. Wie verändert diese Präzision das Versicherungsgeschäftsmodell? Was macht das mit dem Vertrauen der Kund\*innen?



#### Resilienz-Logistik:

Chaos-Management in Echtzeit: Aktuell sind 21,6 % aller LKW-Kilometer in der EU Leerfahrten. [1] Ein Teil davon ist strukturell, aber ein riesiger Block entsteht, weil Pläne bei Störungen (Stau, Wetter, Streik) zusammenbrechen. Das Problem ist also nicht nur die Optimierung der Route (Traveling Salesman Problem), sondern die Dynamik. Wenn das System kippt, können klassische Rechner oft nicht schnell genug umplanen. Quantum Annealing zielt darauf ab, diese kombinatorischen Probleme in Echtzeit neu zu ordnen. Nicht die „kürzere Strecke“ zählt, sondern die „stabilere Kette. Wandelt sich Logistik von einer starren Kostenstelle zum dynamischen Wettbewerbsvorteil?



#### **Simulation as a Service: Das neue SaaS?**

Physische Prototypen sind teuer und langsam. Ein warnendes Beispiel liefert Boeings 787 Dreamliner: Laut einer konservativen Schätzung der Seattle Times beliefen sich die Gesamtinvestitionen auf über 32 Milliarden US-Dollar, noch bevor das erste Flugzeug überhaupt ausgeliefert wurde. [2]

Mit Digital Twins (virtuellen, hochpräzisen Abbildern physischer Objekte) auf Quanten-Basis könnten wir Materialbelastungen oder Crash-Szenarien so exakt simulieren, dass der Bau echter Modelle auf ein Minimum reduziert wird. Was spart das pro Fahrzeugprogramm? Wie verkürzt das die Time-to-Market, wenn wir Batteriematerialien virtuell testen, bevor die Fabrik überhaupt steht?

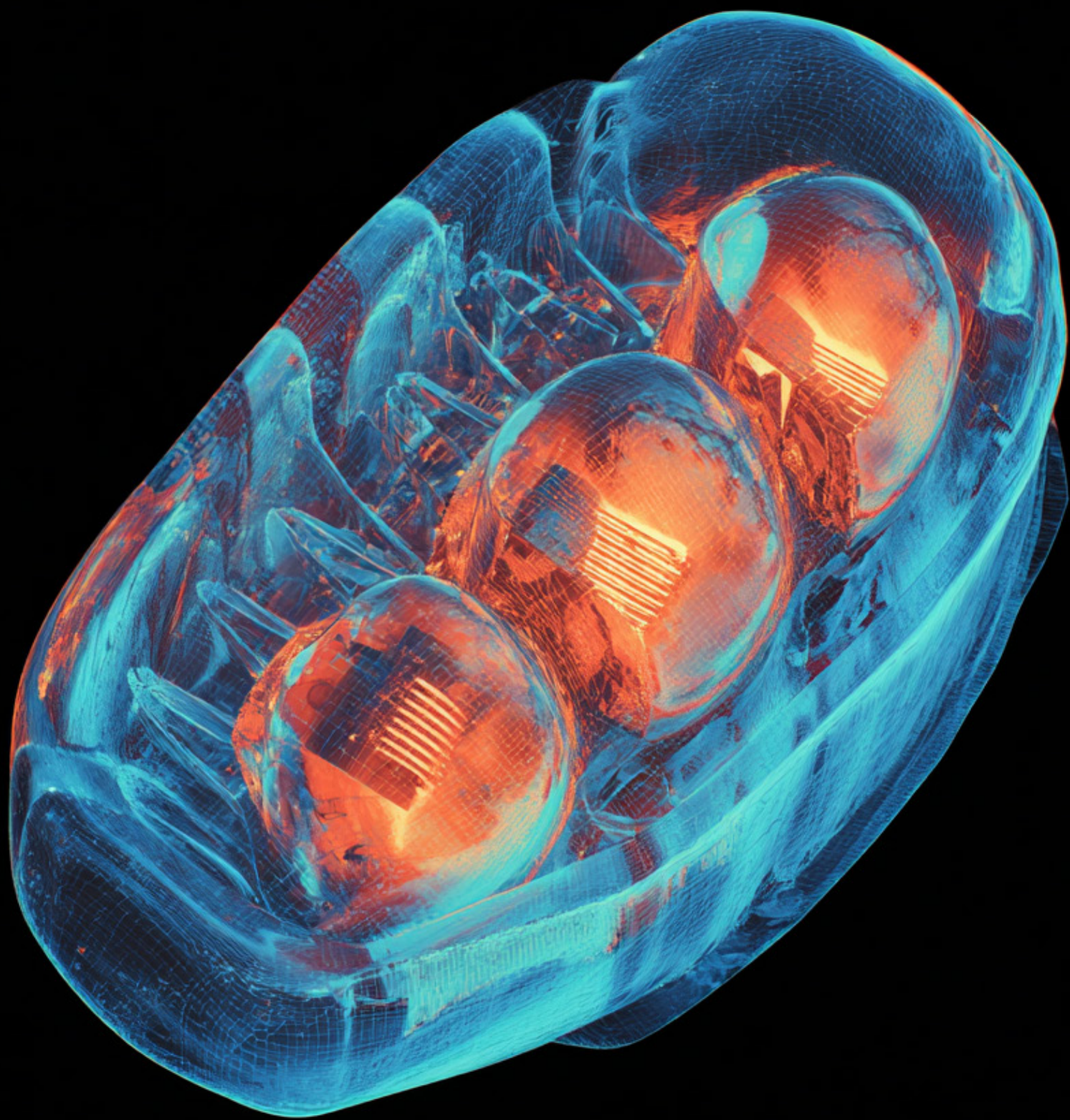


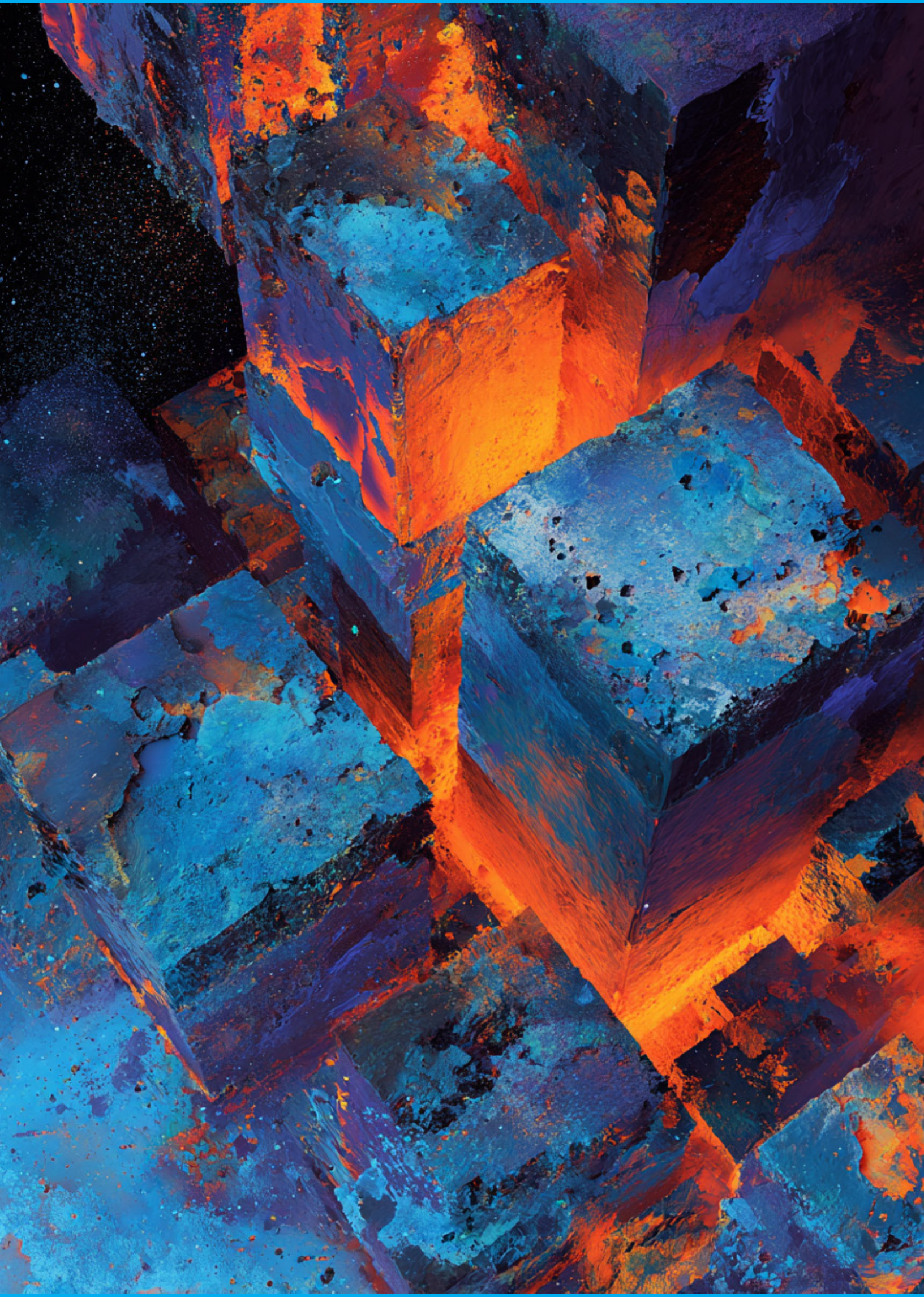
#### **Das Quantum-Ecosystem – Demokratisierung der Rechenpower:**

Keine Sorge, niemand muss sich einen Quantenrechner in den Keller stellen. Der Zugriff läuft entspannt über die Cloud (z. B. Azure Quantum, AWS oder IBM). Es entsteht ein Ökosystem für hybride Algorithmen. Ein Unternehmen braucht eine komplexe Risiko-Simulation oder Materialanalyse? Es zieht den passenden API-Key und rechnet per „Pay-per-Run“ ab. Die Eintrittshürde sinkt von „wir brauchen Quantenphysiker\*innen“ auf „wir brauchen Quantum-Readiness“. Gibt es in Zukunft einen „App-Store“ für Probleme, die heute noch unlösbar sind?

Wir stehen vor einem Umbruch, in dem KI als Interface und Quantencomputing als Rechenmotor für die härtesten Nüsse fungieren. Wer hier den Anschluss verpasst, wird den Vorsprung der Konkurrenz nicht mehr einholen können. Was also tun?

**DIE „WAIT-AND-SEE“-TAKTIK  
IST UND WAR NIE EINE OPTION –  
INNOVATION IST  
DIE EINZIGE VERSICHERUNG  
GEGEN DIE IRRELEVANZ.  
NUR WAS TUN?**

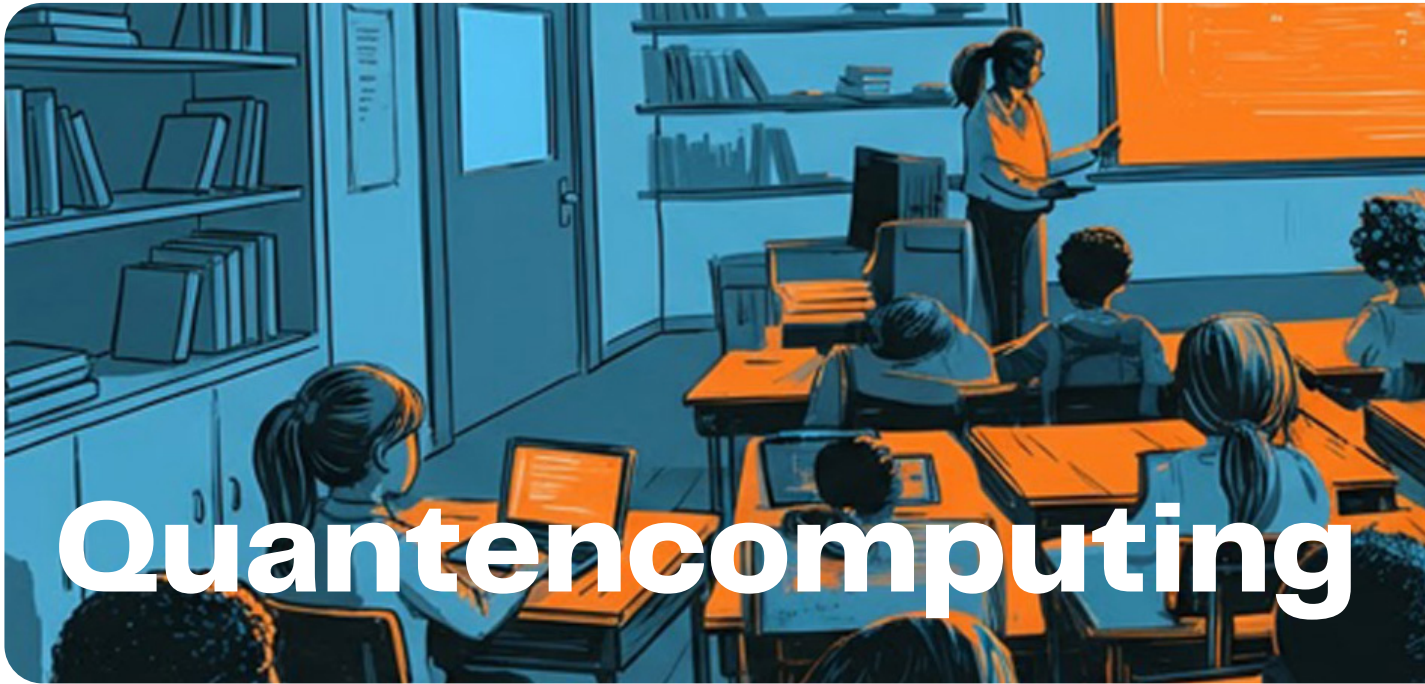




## Kapitel 4

# UPSKILLING

Wann ist man  
Quantum Ready? –  
Wissen, Talente,  
Transformation



Georg Wolf, Dozent an der IU München und Chief Innovation Officer, OMG E-Commerce GmbH im Gespräch mit Prof. Dr. Bettina Just, Prof. Dr. Gerhard Hellstern und Prof. Dr. Jörg Hettel.

### Von Science Fiction zur Realität

Teleportation... Überlichtgeschwindigkeit... Höhere Dimensionen...

Diese Begriffe wecken eine Mischung aus Frust und Neugier. Ist das jetzt Hokuspokus oder Wunschdenken von Star Trek-Fans? Immerhin glaubte nicht einmal Einstein so recht daran und nannte eine Eigenschaft der Quanten sogar „spukhaft“. Doch was hat Quantencomputing eigentlich mit unserer Wirklichkeit, unseren Herausforderungen und unserer Digitalwirtschaft zu tun? Es wurde Zeit, die führenden Wissenschaftler\*innen Deutschlands auf dem Gebiet zu befragen – quasi um einen Download „Quantencomputing for Dummies“ zu bekommen.

### Realität statt Mystik

Zuerst die wichtigste Frage: Ist das Science Fiction? Oder Esoterik? Oder gar eine mysteriöse, höherdimensionale und unbekannte Welt? Die Professor\*innen winken schnell ab – keineswegs! Die Studierenden an den Hochschulen arbeiten schon länger mit echten Quantencomputern. Die Welt des Allerkleinsten ist längst in der akademischen Normalität angekommen. Was ist also neu? Neu ist, dass wir seit etwa zehn bis fünfzehn Jahren so empfindliche Geräte (Prozessoren, Sensoren, Detektoren, Kryostaten) bauen können, die Quantenteilchen messen, manipulieren und nutzen. Spannend hierbei ist die interdisziplinäre Verbindung der Forschung und des Wissens aus drei Fachrichtungen: Mathema-

Autor

#### Georg Wolf

Dozent an der IU München und Chief Innovation Officer, OMG E-Commerce GmbH





# for Dummies

tik, Physik und Informatik. Nur in diesem Dreiklang können wir die Welt des Allerkleinsten verstehen und auch praktisch nutzen.

## Die besonderen Eigenschaften der Quantenwelt

Was können diese Teilchen und wie lassen sich diese besonderen Eigenschaften nutzen? Quanten – die aller kleinsten, subatomaren Bausteine unserer materiellen Welt – besitzen für Laien schwer verständliche Eigenschaften: So können beispielsweise aus zwei Teilchen Paare gebildet werden, die auch über große Distanzen ohne Verzögerung miteinander vorhersehbar und unmittelbar interagieren.

Moment mal – nichts bewegt sich schneller als Licht. Wie soll das denn gehen? Das „Geheimnis“ ist die sogenannte Nicht-Lokalität, eine Eigenschaft der Quanten. Das Teilchenpaar bleibt verbunden, auch wenn die Partner räumlich getrennt und an verschiedenen Orten. In unserer vierdimensionalen Welt ist das nicht einfach vorstellbar.

Dass diese Reaktionen des Teilchenpaares ohne jede Verzögerung erfolgen, ist eine der besonderen Eigenschaften der Quantenwelt. Man könnte meinen, die Kommunikation zwischen den Teilchenpaaren erfolge schneller als das Licht, aber das ist physikalisch nicht möglich. Vielmehr sind die Teilchen durch die Quantenverschränkung so miteinander verbunden, dass eine Messung an einem Teilchen unmittelbar den Zustand des anderen beeinflusst – ohne dass Information übertragen wird.

Auch Albert Einstein war diese Sache nicht ganz geheuer, und er nannte es die „spukhafte Fernwirkung“. Mittlerweile ist der Spuk verfliegen und der Effekt erklärbar und nutzbar geworden. Umso beeindruckender ist die lässige Nüchtern-

**Prof. Dr. Bettina Just** ist Mathematikerin und Informatikerin mit langjähriger Erfahrung als Projektleiterin in der deutschen und europäischen Versicherungswirtschaft. Seit 2010 ist sie Professorin an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM). Sie unterrichtet Kurse über Quantencomputing seit 2014 und leitet das Kompetenzzentrum Quantencomputing der TransMIT GmbH. Als Autorin des Buches „Quantencomputing kompakt: Spukhafte Fernwirkung und Teleportation endlich verständlich“ und durch mehrere MOOCs auf openHPI zum Thema Quantencomputing hat sie das Feld maßgeblich geprägt.



heit, mit der meine Gesprächspartner\*innen das Thema behandeln: „Es ist halt eine eigene Welt mit besonderen Eigenschaften, die sich anders verhält als unsere makroskopische Welt“. Quasi die Entdeckung eines neuen Kontinents mit ungewöhnlichen Einwohnern, Sprache und Gebräuchen. Wie aufregend!

### **Praktische Anwendungen: Quantenkryptographie**

Zwar kann man sich mit dieser Technik leider nicht irgendwohin beamen, aber gibt es heute konkrete Anwendungen für diese Eigenschaft? Auf jeden Fall, stimmen meine drei Gesprächspartner\*innen zu: Zum Beispiel die faszinierende Verbindung von Quantenpaaren ist der Schlüssel für eine völlig neue Dimension der Kryptographie, der Wissenschaft der Verschlüsselung. Als Teil des Quanteninternets ermöglicht quantenverschlüsselte Kommunikation eine neue Dimension der Abhörsicherheit. Die Quantenteilchen (in diesem Fall Lichtquanten oder Photonen) werden in Paaren erzeugt und über spezielle Glasfaserleitungen oder Satelliten wird ein Teil des Paares zum Empfänger geschickt.

Wird nun irgendwo auf der Strecke ein Abhörversuch unternommen, wird das von den verschränkten Teilchenpaaren sofort „bemerkt“. Hier kommt nämlich ein weiterer Effekt der Quantenwelt ins Spiel: Das Teilchen ändert sofort seine Eigenschaft, wenn es beobachtet wird (in diesem Fall, wenn ein Abhörversuch in der Glasfaserstrecke unternommen wird). Das andere Teilchen des Paares „merkt“ das ohne Verzögerung. Wird ein solche Störung festge-

stellt wird die Kommunikation unterbrochen. Ein unbemerktes Lauschen oder Mithören wird dadurch physikalisch unmöglich!

Diese ultimative Abhörsicherheit wird bereits intensiv von Behörden und militärischen Einrichtungen auf der ganzen Welt (besonders in China) genutzt und stetig ausgebaut. Eine spätere Nutzung in der digitalen Privatwirtschaft? Durchaus denkbar, besonders bei datensensiblen, vertraulichen Projekten.

### **Der dringende Handlungsbedarf für Unternehmen**

Also als Unternehmen erstmal abwarten? Auf keinen Fall, meinen die Professor\*innen – der Handlungsbedarf ist jetzt schon da!

Wie das? Es ist aus der Presse bekannt, dass aktuelle Quantencomputer in immer kürzerer Zeit immer mehr Rechenpower entwickeln. Es ist absehbar, dass es bald potente Quantencomputer geben wird, welche die aktuell gängigen Verschlüsselungen (z. B. RSA-2048) knacken werden. Das BSI hat hier bereits reagiert und festgestellt, dass ab 1. Januar 2026 die RSA-2048-Verschlüsselung für sensible Daten nicht mehr zulässig ist. Und es geht noch weiter: Das BSI plant für 2025 nationale Umstellungsprojekte zur quantenresistenten Kryptographie (sogenannte „Post-Quanten-Kryptographie“) mit dem Ziel, bis Ende 2030 alle sensiblen Bereiche (z.B. kritische Infrastruktur) umzustellen.

Da gibt es für Unternehmen heute schon viel zu tun, wie Frau Prof. Dr. Just bestätigt: „Wir haben extra ein Planspiel entwickelt, um zusammen mit Unternehmen – primär aus dem Mittelstand – spielerisch die Quantum Readiness zu ermitteln.“ Besonders im Bereich der Verschlüsselung kann man sich nicht auf eine „Wait and See“-Haltung zurückziehen – da ist Handeln angesagt! Das Planspiel hilft, durch Erkenntnis eine Awareness zu schaffen, die zum Handeln anregt.



**Prof. Dr. Gerhard Hellstern** ist Professor für Finance und Data Science an der Fakultät Wirtschaft der Dualen Hochschule Baden-Württemberg in Stuttgart. Er beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Anwendung von Data Analytics sowie Machine und Deep Learning im Finanzbereich. Diese Methoden umfassen auch das Quantencomputing sowie das darauf aufbauende Quantum Machine Learning. Als Qiskit-Advocate bei IBM und Mitglied des Forschungsnetzwerks Quantencomputing der Fraunhofer Gesellschaft hat er mehrere MOOCs auf openHPI zum Thema Quantenalgorithmen veröffentlicht.

Und selbst wenn die Unternehmensdaten heute noch als sicher eingestuft werden, kann es sein, dass bald Quantencomputer diese Daten in der Zukunft entschlüsseln können. So könnten Kriminelle verschlüsselte Daten heute stehlen und erst Jahre später entschlüsseln, wenn die notwendige Rechenleistung vorhanden ist. Der Fachbegriff für diese Risikosituation: „harvest now, decrypt later“.

### Die Zukunft der Quantencomputer

Was können wir von der Zukunft erwarten? Welche Bedeutung haben die Ankündigungen von Google, IBM und Microsoft im Wettbewerb um den schnellsten Quantencomputer? Und was genau macht Quantencomputer so leistungsfähig?

Das Geheimnis der Leistungsfähigkeit liegt in den Eigenschaften der Quantum-Bits (oder Qubits), die – im Gegensatz zu herkömmlichen Bits – in einem „weder-noch-Zustand“, genannt Superposition existieren können. Das bedeutet, sie können sich in einer Überlagerung der Zustände „0“ und „1“ befinden. Bei einer abschließenden Auswertung (Messung) nehmen sie dann einen bestimmten Wert an. Diese Superposition ermöglicht es Quantencomputern, viele Rechenwege parallel zu erkunden, was sie theoretisch zu exponentiell leistungsfähigeren Computern für bestimmte Problemklassen macht.

Die Herausforderung der nächsten Jahre: Wenn Qubits einen bestimmten Wert (einen definierten Zustand) annehmen, geschieht dies immer nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit. Äußere Störungen führen hier zu Fehlern, die durch aufwendige Fehlerkorrektur beherrschbar gemacht werden müssen.

### Realistische Erwartungen und Anwendungsgebiete

Quantencomputer werden also unsere WhatsApp-Anrufe nicht besser machen oder unsere

**Prof. Dr. Jörg Hettel** war als Berater bei nationalen und internationalen Unternehmen tätig und begleitete zahlreiche Firmen bei der Einführung von objektorientierten Technologien. Als Software-Architekt übernahm er Projektverantwortung und ist seit 2003 Professor an der Hochschule Kaiserslautern am Standort Zweibrücken. Neben Vorlesungen aus dem Bereich der Software-Technik hält Prof. Hettel seit über 15 Jahren auch regelmäßig Vorlesungen zu den Themen Quantencomputing und Quanteninformation. Seine Expertise spiegelt sich in mehreren MOOCs auf openHPI zu Quantenkryptographie und Quanteninternet wider.



### Alle drei Professor\*innen bieten auf OpenHPI kostenlose Kurse an:

Einführung in das Quantencomputing  
**Prof. Dr. Bettina Just**

<https://open.hpi.de/courses/qc-intro-1-2022/>

Quantenkommunikation und -kryptographie  
**Prof. Dr. Jörg Hettel**

[https://open.hpi.de/courses/qc-kryptographie-1-2022](https://open.hpi.de/courses/qc-kryptographie-1-2022/)

Quantenalgorithmen und Implementierung  
**Prof. Dr. Gerhard Hellstern**

[https://open.hpi.de/courses/qc-algorithmen-1-2022](https://open.hpi.de/courses/qc-algorithmen-1-2022/)

**Einen Überblick über alle Quantenkurse am openHPI findet ihr hier:**

<https://open.hpi.de/channels/quantum>

Excel-Tabellen nicht schneller werden lassen. Auch wird es keine Superintelligenz geben, sobald KI-Modelle auf Quantencomputern laufen. Vielmehr sind es ganz bestimmte Forschungsaufgaben in Chemie, Medizin und Biologie, die für Quantencomputer prädestiniert sind:

Wenn wir berechnen könnten, wie Atome und Moleküle sich in großen Systemen verhalten, können wir diese Bereiche viel präziser erforschen, neue Materialien erfinden und Medikamente entwickeln und simulieren. Die Zukunft hält Großes für uns bereit – mit Hilfe des Aller-kleinsten.





# Wieviel Quanten-Know-how brauchen wir wirklich?

**Q**uantencomputing verspricht Revolutionen. Doch während die physikalische Forschung in Riesenschritten voranschreitet, wächst in den Führungsetagen der Unternehmen die Verunsicherung: Müssen wir jetzt alle zu Quantenphysiker\*innen werden? Wie tief muss das Verständnis gehen, um den Anschluss nicht zu verlieren, ohne sich im theoretischen Dickicht aus Superposition und Verschränkung zu verirren?

Im Folgenden schlägt Klaus Landsdorf, CEO und Co-Founder von Iniationware GmbH und Quantencomputing-Experte die Brücke zwischen komplexer Quantentechnologie und praktischer Anwendung. Wir gehen der Frage auf den Grund:

Wieviel Quanten-Know-how brauchen wir wirklich?“

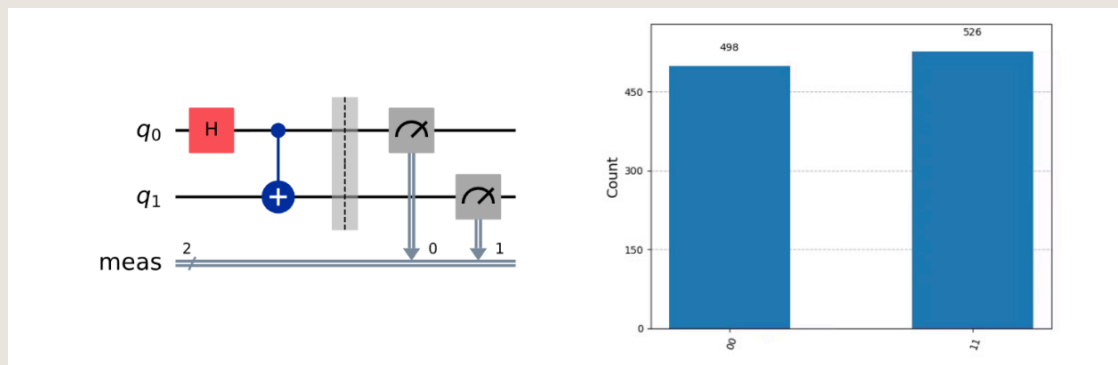
## 1. Muss ich jetzt Physiker\*innen einstellen?

Viele Unternehmen fürchten, für Quantencomputing promovierte Physiker\*innen rekrutieren zu müssen, die es am Markt kaum gibt. Stimmt das, oder verschiebt sich die Anforderung eher dahin, dass unsere heutigen IT-Spezialisten und Data Scientists lediglich lernen müssen, ‚anders‘ zu denken und Quanten-Algorithmen zu nutzen?

Aus meiner persönlichen Sicht können es auch Menschen mit einem Verständnis für elektronische Schaltkreise und Mathematik sein, denn das Programmieren ist für das Quantencomputing zweitrangig. AI kann mir zügig Qiskit und Python beibringen und schon habe ich meinen ersten 101 für das erste kleine „Quanten-Programm“ erledigt.

Es kommt mehr darauf an zu verstehen, wie ich die Möglichkeiten einer Sphäre in Form eines Schaltkreises beeinflussen kann und eine Vorstellung davon zu entwickeln, was die einzelnen Bausteine des Schaltkreises bewirken. Ich bin froh, dass ich zuerst Elektrotechnik gelernt habe

## Schaltkreis: Beispiel einer perfekten Verschränkung (Bell-Zustand)



in der Ausbildung. Die 3 Jahre elektrotechnische Ausbildung haben mir sehr geholfen, schon ein Grundverständnis für die Quanten-Programmierung mitzubringen und diese Form der Programmierung erscheint mir teils logischer als die klassische Programmierung in komplexen Anwendungen mit vielen Parametern. Gerade das Verbinden von QUBits und damit die Abbildung von Abhängigkeiten in der Verschränkung festzulegen sowie analoge und digitale Vorstellungen im Prozess, erscheint mir extrem hilfreich. Vielleicht ist mein Wissen auch noch zu oberflächlich und ich sehe es deshalb als so einfach an. Doch eins kann ich mit Sicherheit sagen. Wir bei Iniationware machen in wenigen Wochen aus Menschen mit gutem mathematischem Verständnis und der Affinität elektronische Schaltkreise zu durchschauen zu Programmierern kleiner funktionierender Quanten-Programme wie dem Quantenwürfel und sie können mit Verständnis erläutern, was im Quantencomputer passiert, wenn das Programm ausgeführt wird.

Fun-Fact: Eine Sekunde kostete beim letzten Test auf dem IBM 1,65 EUR/Sekunde und wir haben beim ersten Programm des Praktikanten bloss vorm Bildschirm gesessen, als es ca. 60 Minuten Laufzeit angezeigt hatte. Doch zum Glück war das nur eine Warteschleife, die wir so noch nicht hatten und es waren am Ende nur 3 Sekunden und ca. 5 EUR in der Ausführung.

### 2. Die Rolle des „Quantum-Translators“:

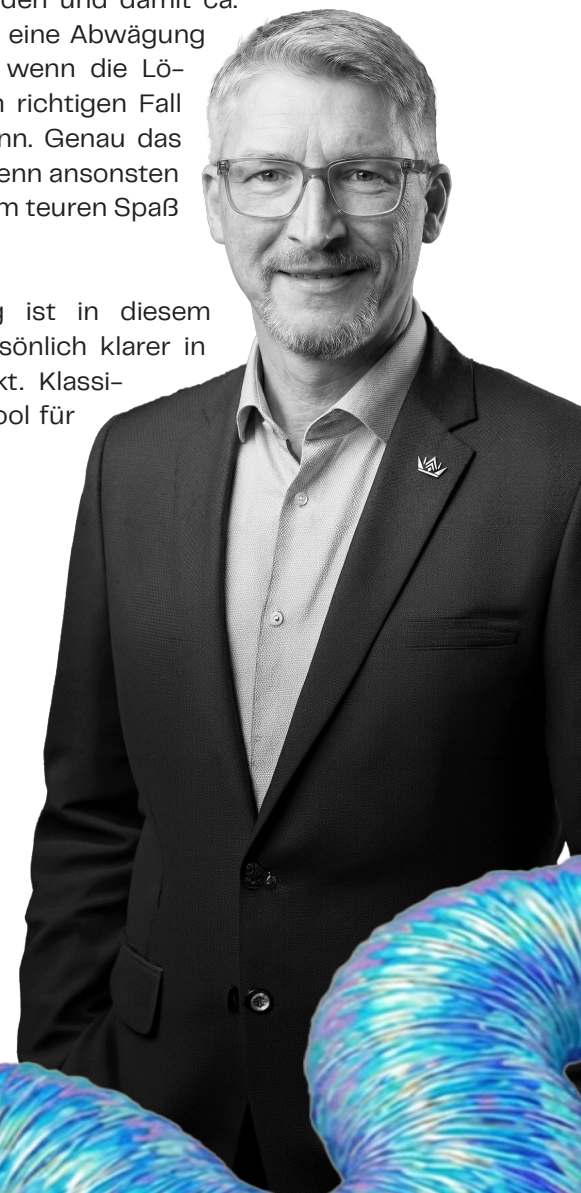
Zwischen einem konkreten Business-Problem (z. B. ‚Lieferkette optimieren‘) und der Quanten-Hardware klafft eine Lücke. Brauchen wir eine neue Art von Mitarbeitern – die ‚Übersetzer‘ –, die zwar keine Quantenmechanik im Detail verstehen müssen, aber wissen, welche geschäftlichen Fragen sich überhaupt für einen Quantencomputer eignen?

Die Rolle des Quantum-Translators kann aus meiner persönlichen Sicht sehr hilfreich sein, denn nicht jeder kann sich auf die andere Denkweise des Quantencomputers einlassen. Besonders in der Frage macht es wirklich Sinn, die Anforderung oder Aufgabe an das Quanten-Team zu geben, könnte dort platziert werden, um Fehlentscheidungen mit hohen Kosten vorzubeugen. Eine Kostenbewertung wird in den ersten Jahren ebenfalls sinnvoll sein, denn bei ca. 15 EUR für 10 Sekunden und damit ca. 90 EUR/Minute ist eine Abwägung angebracht, auch wenn die Lösung den Preis im richtigen Fall klar aufwiegen kann. Genau das gilt es zu prüfen, denn ansonsten kann es schnell zum teuren Spaß für nichts werden.

Hybrid-Computing ist in diesem Jahr für mich persönlich klarer in den Fokus gerückt. Klassiker: das richtige Tool für

Autor

**Klaus Landsdorf,**  
Co-Founder & CEO,  
Iniationware  
GmbH und  
BIANCO  
ROYAL LLC.

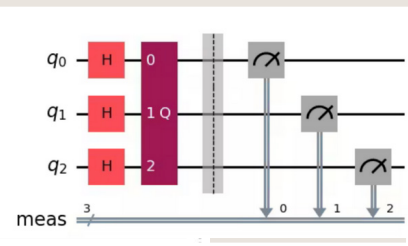


## Quantenprogrammierung

```

1 qc = QuantumCircuit(grover_op.num_qubits)
2 # Create even superposition of all basis states
3 qc.h(range(grover_op.num_qubits))
4 # Apply Grover operator the optimal number of times
5 qc.compose(grover_op.power(optimal_num_iterations), inplace=True)
6 # Measure all qubits
7 qc.measure_all()
8 qc.draw(output="mpl", style="iqp")

```



die entsprechende Aufgabe und den Schwierigkeitsgrad. Gemeinsam können der klassische und der Quantencomputer neue Maßstäbe in Computing-Zeiten setzen.

Beispiel: Testreihen in Sekunden oder 100x schneller extrahieren, mit 100x mehr Relevanz ohne Abstriche in der Qualität aus Kostengründen und diese dann an den klassischen Computer weitergeben, damit dieser die Berechnung kostengünstig vollzieht. So kommen erste PoCs (Proof of Concepts) auf z.B. 1 Jahr statt 100 Jahre oder auf einen Tag für 100 Tage. Der Quantencomputing-Markt wird aus diesem Grund als erster "Trillion Dollar Market" gehandelt. 10x kann einpacken, wenn 100x am Start und normal geworden ist. Kleiner Scherz. Beide zusammen machen das Paket.

### 3. Programmiert man das noch selbst?

In der klassischen IT nutzen wir heute Low-Code-Plattformen und fertige Cloud-Dienste. Wird Quantencomputing ähnlich zugänglich sein (‘Quantum Computing as a Service’), sodass Anwender nur noch über eine einfache Schnittstelle (API) zugreifen, oder bleibt es auf absehbare Zeit Expertenarbeit, die tiefes technisches Verständnis erfordert?

Quantum-Programming kann No-Code bzw. Low-Code first betrachtet werden. Durch die Schaltkreisvisualisierung habe ich eine visuelle Kontrolle und Quantencomputing wird, aus meiner aktuellen Perspektive, für industrielle Anwendungen QCaaS sein. Auch wenn es QUBits für den Schreibtisch, das Rechenzentrum oder die Hosentasche geben kann, bleibt das Thema zu frisch, um es abschließend zu bewerten, wann das der Fall sein wird.

### Full Grover Circuit

Der Grover-Algorithmus (oft als „Full Grover Circuit“ implementiert) ist ein Paradebeispiel für die Potenziale des Quantencomputings und seine Bedeutung für die gesamte Digitalwirtschaft. Er dient als Quanten-Suchalgorithmus und ermöglicht die Suche in einer unsortierten Datenbank mit einer quadratischen Beschleunigung im Vergleich zu klassischen Algorithmen.

Expert\*innen braucht es in jedem Gebiet und so ist es auch für das Quantencomputing. Die tägliche Anwendung hingegen braucht "nur" Menschen mit gutem Verstand und einer soliden mathematischen und technischen Ausbildung. Wir werden dem Fachinformatiker für Digitale Vernetzung dieses Wissen mit auf den Weg geben in der normalen Ausbildung. Aus unserer Sicht soll Quantencomputing so schnell es geht so normal wie das klassische Computing werden. Der aktuelle Stand ist teils erschreckend, wie Außenstehende reagieren, wenn ich über meine Erfahrungen im Quantencomputing spreche. Sie halten mich in den meisten Fällen für einen Spinner und denken "jetzt dreht er durch", obwohl ich die Grundlagen für das Quantencomputing im Jahr 2019 im Studium bei Matthias Homeister im Kurs Future Computing ganz normal gelernt habe.

Diejenigen, die sich an das Thema herantrauen, bekommen das Buch "Quantencomputing verstehen" von Matthias Homeister und noch ein paar weitere Bücher wie das Rheinwerk Buch "Quantencomputing" und Erkenntnisse aus unserer Wissensdatenbank. Zwei Wochen später ist Quantum Computing so normal wie Kaugummi kauen.

LLMs helfen zusätzlich siehe Huggingface um schneller zu lernen. Jupyter mag ich persönlich sehr gerne für die Entwicklung in JetBrains DataSpell und damit starten wir auch in der Ausbildung. Das LLM kann in DataSpell direkt integriert

werden und Hilfestellungen geben. Nichts muss – vieles kann, und es gibt eine gute Auswahl an Tools für Visual Studio Code und die JetBrains Tools.

#### 4. Bildungslücke vs. Fachkräftemangel:

Wenn wir in 5 Jahren wettbewerbsfähig sein wollen: Was müssen wir heute an den Universitäten und in der betrieblichen Weiterbildung ändern? Reicht ein Wochenend-Seminar für Informatiker, oder brauchen wir völlig neue Studiengänge für ‚Quanten-Informatik‘?

Ein gezielter Studiengang für die Anwendung von Quantencomputing würde aus meiner Sicht Sinn machen. Mehr junge Menschen locker an das Thema heranzuführen und dann in die Praxis bringen.

Aktuell muss man nach meinem Wissensstand „Scientific Computing“ studieren bzw. ist man in den Anforderungen im wissenschaftlichen Bereich angesiedelt, wenn man in diese Richtung gehen möchte. (<https://www.mygermanuniversity.com/de/subjects/quantum-computing>) Daher habe ich mich sehr gefreut, dass in meinem M.Sc. Studiengang, genau dieser Anspruch der praktischen Anwendung von Quantencomputing einmal als Semester-Kurs angeboten wurde. Je schneller wir Quantencomputing als normales Werkzeug betrachten, desto besser für unsere Gesellschaft. Nicht dass wir diesen Trend verschlafen, weil er gesellschaftlich als zu weit weg von normal erscheint.

Im Land der Aufklärung braucht es genau das: Aufklärung, aktive Arbeitsgruppen und Hands-On für erste Use-Cases, die das Potential klar aufzeigen.

Kids4IT habe ich für einige Zeit unterstützt und solche Formate helfen ebenfalls, neue Ideen zu pushen und etwas zu „entzaubern“, damit sich jeder, den es interessiert, angesprochen fühlt und sich traut, einzutauchen und loszuschwimmen. Damit möchte ich sagen, Seminare können dafür schon reichen, um das Feuer zu entzünden, denn wenn ein kluges Köpfchen erstmal angeheizt ist, geschieht das, was den Fachkräftemangel abmildern kann.

#### 5. Souveränität durch Verstehen:

Kann ich als Entscheider\*in Technologie einkaufen, die ich nicht verstehe? Wie viel ‚Basis-Know-how‘ braucht ein CEO oder CTO zwingend, um nicht blindlings auf Quantencomputing-Hypes hereinzufallen oder sich technologisch abhängig von wenigen großen US-Anbietern zu machen?

Consulting ist in diesem Fall ein guter Punkt. Als CEO der Iniationware weiß ich, wie es um die Zeit bestellt ist und mein Schwager als CTO kann dazu auch ein Lied singen. Dennoch gelingt es uns, durch gezielte Kanäle das Wissen oder mindestens die richtigen Trends in das Unternehmen zu lenken und einen Blick auf die Open-Source-Welt zu haben.

Im Unternehmen angekommen, setzen wir verschiedene Personen kurz in die Prio 1–3 Themen, die mein Schwager und ich auswählen. Ab da gibt es einige klare Grundregeln für uns, die uns zeigen, ob ein Trend, Hype oder neues Wissen relevant ist oder nicht oder zu wann wir ungefähr schätzen, dass Themen relevant werden könnten.

Prinzip: Better done, than perfect. – Kurz rein erste Kratzer abholen und dann neu bewerten oder unsere Lieblingsanalogie: Tür auf, schauen welches Monster da sitzt, kurze Entscheidung ob wir als Tag-Team reinstürmen, nur einer allein oder ob wir direkt die Tür wieder zuschlagen.

Blindlings einem Hype zu folgen ist nur selten eine gute Idee aus meiner Sicht. Wiegen, Messen und Bewerten sind weiterhin gute Mittel, um die richtigen Entscheidungen zu treffen. Eine klare Strategie und ein Team mit guten Fähigkeiten in den Grundlagen, Motivation und eine gute Ausbildung im Thema Lernen sind Schlüsselemente. Wenn zielgerichtetes Lernen und Selbstmanagement zu den Fähigkeiten der Teammitglieder gehören, ist jeder Hype und jede Dynamik in kurzer Zeit und im Lebenszyklus via PoC bewertbar und macht eine schnelle Adaption möglich, wenn diese denn Sinn macht und auf die Ziele der Unternehmung „einzahlen“, sei es mit Wissen oder Werten.

Kernkompetenzen bzw. Basis-Know-How aus meiner Sicht für einen CEO/CTO: Strategie mit Langzeitwirkung, gutes Selbstmanagement, gute Vernetzung und die Möglichkeit, sich schnell anzupassen durch Strategie und gutes Management.

# Ein Quickcheck für

Quantencomputing entwickelt sich mit rasanter Geschwindigkeit von einem forschungsgetriebenen Innovationsfeld zu einer technologischen Schlüsselkomponente für die digitale Wertschöpfung der Zukunft. Bereits heute zeichnen sich potenzielle Anwendungsszenarien in Bereichen wie Optimierung, Kryptografie, Materialsimulation und maschinellem Lernen ab – mit weitreichenden Auswirkungen auf nahezu alle Branchen der digitalen Wirtschaft.

Für die deutsche Digitalwirtschaft stellt sich damit weniger die Frage, ob Quantencomputing relevant wird – sondern wann und in welchem Ausmaß. Unternehmen, die frühzeitig strategische Grundlagen schaffen, Kompetenzen aufbauen und relevante Netzwerke erschließen, werden sich langfristig Wettbewerbsvorteile sichern.

Der BVDW setzt sich dafür ein, technologische Entwicklungen frühzeitig einzuordnen, ihre Bedeutung für Wirtschaft und Gesellschaft sichtbar zu machen und praxisnahe Orientierung zu bieten. Der vorliegende Quick-Check zur Quantum-Digital-Readiness soll Unternehmen dabei unterstützen, ihre eigene Ausgangslage realistisch zu bewerten und konkrete Handlungsfelder zu identifizieren.

Denn: Frühzeitige Vorbereitung ist der Schlüssel, um im Quantenzeitalter nicht nur Schritt zu halten, sondern aktiv mitzugestalten.

## Quick-Check:

### Quantum Readiness: Wo steht Dein Unternehmen im Zeitalter der Quantenrevolution?

Quantentechnologien sind dabei, die Digitale Wirtschaft grundlegend zu transformieren – mit disruptivem Potenzial für nahezu alle Branchen. Ob Logistik, Materialforschung, Cybersecurity oder KI: Der technologische Fortschritt im Bereich Quantencomputing schreitet rasant voran. Doch wie gut ist die deutsche Digitalwirtschaft wirklich darauf vorbereitet?

Der Quick-Check zur Quantum-Digital-Readiness gibt Orientierung. Entwickelt entlang zentraler Handlungsfelder – von Strategie über Technologie und Use Cases bis hin zu Kompetenzen und IT-Sicherheit – ermöglicht er eine strukturierte Selbsteinschätzung. Ziel ist es, die eigene Ausgangslage realistisch zu bewerten: Wo steht mein Unternehmen im Umgang mit Quantentechnologien? Welche Grundlagen sind gelegt?

Wo bestehen Lücken und wie lassen sich gezielte Schritte zur Weiterentwicklung ableiten?

Hier (grafisch aufbereitet) Quick-Check:

## Dein Ergebnis im Quantum-Digital-Readiness-Check:

### Geringe Readiness (20–34 Punkte)

**Status:** Erste Grundlagen erforderlich Dein Unternehmen befindet sich noch in einer frühen Phase der Auseinandersetzung mit Quantentechnologien. Weder strategische Positionierung noch technologische oder organisatorische Voraussetzungen sind bislang substantiell verankert. Es empfiehlt sich, das Thema Quantum gezielt in der Digitalstrategie zu verankern und erste Kompetenzfelder aufzubauen.

### Mittlere Readiness (35–49 Punkte)

**Status:** Fundament vorhanden, Handlungsfelder offen Dein Unternehmen hat sich bereits mit den Potenzialen von Quantencomputing auseinandergesetzt und erste Voraussetzungen geschaffen – etwa im Bereich strategischer Überlegungen, Partnerschaften oder technologischer Tests. Um zur Umsetzung zu gelangen, sollten bestehende Lücken in Use Cases, IT-Security oder Mitarbeiterkompetenz aktiv adressiert werden.

### Hohe Readiness (50–60 Punkte)

**Status:** Strategisch gut aufgestellt, Umsetzungsreife gegeben Dein Unternehmen ist technologisch, organisatorisch und strategisch sehr gut vorbereitet. Es bestehen konkrete Use Cases, der Zugang zu Quantenplattformen ist vorhanden und die Integration in bestehende Prozesse wurde bereits angedacht oder realisiert. Damit ist Deine Organisation bereit, aus der Technologie einen realen Wettbewerbsvorteil zu entwickeln.

## Let's go!

Die Zukunft ist nicht binär – sie ist quantenbasiert. Quantencomputing ist kein Zukunftsthema mehr, sondern bereits heute ein entscheidender Innovationsfaktor für die deutsche Digitalwirtschaft. Wer sich frühzeitig vorbereitet, schafft sich strategische Vorteile in einem zunehmend technologiegetriebenen Marktumfeld. Der Quantum-Digital-Readiness-Check bietet eine erste Standortbestimmung. Er macht sichtbar, wo Dein Unternehmen bereits stark ist und wo strategische, technologische oder kulturelle Impulse notwendig sind.

# die deutsche Digitale Wirtschaft

## Quantumcomputing als strategische Zukunftsfrage der Digitalen Wirtschaft

Kategorie	Frage	Trifft zu 3 Punkte	Trifft teilweise zu 2 Punkte	Trifft nicht zu 1 Punkte
<b>Strategisches Verständnis &amp; Positionierung</b>	Wir haben das Potenzial von Quantentechnologien bereits auf strategischer Ebene diskutiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Die Chancen und Risiken von Quantencomputing sind Teil unserer langfristigen Digitalstrategie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Unsere Geschäftsführung sieht Quantum als möglichen Wettbewerbsvorteil in der Zukunft.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Technologischer Zugang &amp; Infrastruktur</b>	Wir haben bereits Zugang zu Quantum-Computing-Plattformen (z. B. über IBM Q, Amazon Braket, DLR, Jülich).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Erste Tests oder Proof-of-Concepts mit Quantum-as-a-Service wurden bei uns durchgeführt oder geplant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Unsere IT-Architektur ist offen für die Integration von Quanten- und klassischen Systemen (hybride Workflows).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Use Case-Fähigkeit</b>	Wir haben mögliche Anwendungsfelder von Quantencomputing für unsere Branche identifiziert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Es gibt interne Fragestellungen oder Prozesse, die sich durch Quantum effizienter lösen ließen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Wir haben konkrete Use Cases priorisiert und für erste Tests aufbereitet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Mitarbeiterkompetenz &amp; Unternehmenskultur</b>	Es gibt Mitarbeitende mit Basiswissen zu Quantentechnologien (z. B. Physik, Informatik, IT).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Wir fördern aktiv das Verständnis für Quantentechnologien durch Schulungen, Workshops oder Austauschformate.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	„Quantum Readiness“ ist Teil unserer Innovationskultur – wir sehen das Thema nicht als rein akademisch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Partnerschaften &amp; Ökosystem-Einbindung</b>	Wir sind Teil eines relevanten Netzwerks oder Projekts im Bereich Quantentechnologien (z. B. Fraunhofer, QUTEQA, Munich Quantum Valley).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Wir kooperieren mit Hochschulen, Start-ups oder Forschungseinrichtungen zu Quantum-Themen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Wir beobachten regelmäßig Förderprogramme und Innovationsprojekte (BMBF, EU, DLR) im Quantum-Bereich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>IT-Security &amp; Post-Quantum-Vorbereitung</b>	Wir sind uns bewusst, dass klassische Verschlüsselung durch Quantencomputer in Zukunft angreifbar sein könnte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Unsere IT-Sicherheitsstrategie berücksichtigt bereits erste Aspekte von Post-Quantum-Kryptografie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Wir haben begonnen, unsere Systeme auf quantensichere Verschlüsselung zu analysieren oder umzustellen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Fachabteilungen wie IT, Compliance oder Recht wurden über Post-Quantum-Kryptografie informiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Wir evaluieren aktiv Anbieter und Lösungen für quantensichere Kommunikation und Infrastruktur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Punkte</b>				

Gesamtpunktzahl

20–34

35–49

50–60

Readiness-Level

**Gering****Mittel****Hoch**

Interpretation

**Unternehmen steht noch am Anfang****Grundlagen gelegt, Handlungsfelder offen****Strategisch gut vorbereitet, Umsetzungsreife gegeben**

Autor

**Simon Boë,**  
Geschäftsführer,  
onehundred.digital  
GmbH



## Kapitel 5

# OUTRO

Quantum Agenda –  
Was die Digitale Wirtschaft  
konkret tut

# VON DER TECHNOLOGIE ZUR GESTALTUNGSKRAFT: DER AUFTRAG AN DIE DIGITALE WIRTSCHAFT

**D**ie Entwicklung des Quantencomputings hat im Jahr 2025 einen entscheidenden Wendepunkt erreicht. Was lange als Domäne der theoretischen Physik galt, transformiert sich mit rasanter Geschwindigkeit: Investitionen ziehen massiv an, Innovationen skalieren, und die Technologie wandert aus der geschützten Forschungsumgebung hinein in die konkrete wirtschaftliche Anwendung. Prognosen untermauern diese Dynamik: Bis 2035 könnte der globale Markt für Quantentechnologien ein Volumen von bis zu 97 Milliarden US-Dollar erreichen.<sup>1</sup>

Nahezu alle Schlüsselindustrien, von Chemie und Life Sciences über das Finanzwesen bis hin zur Mobilität, stehen vor quantengetriebenen Umbrüchen. Auch wenn die Effekte in der Digitalen Wirtschaft heute noch nicht flächendeckend sichtbar sein mögen, so ist sie doch im Kern betroffen. Die aktuellen Erkenntnisse unserer Expert\*innen machen eines deutlich: Quantentechnologien sind weit mehr als nur ein weiteres Kapitel im gewohnten Fortschrittsnarrativ der IT.



## Ein struktureller Übergang der Denkweise

Wir stehen nicht vor einem bloßen Wechsel von einer Technologie zur nächsten, sondern vor einem strukturellen Paradigmenwechsel. Es ist der Übergang von der rein inkrementellen Optimierung hin zu einer völlig neuen Qualität des Denkens, Entscheidens und Gestaltens. In diesem Prozess vollzieht sich eine fundamentale Wandlung:

Aus Innovation wird Infrastruktur. Aus Forschung wird Standortpolitik. Aus abstrakter Physik wird unternehmerische Realität.

## Die Konvergenz der Zukunftstechnologien

Wir erleben derzeit keine lineare Weiterentwicklung, sondern den gleichzeitigen Durchbruch mehrerer Schlüsseltechnologien, die synergetisch ineinandergreifen. Künstliche Intelligenz, Quantentechnologien, neuartige Halbleiterarchitekturen und moderne digitale Infrastrukturen wirken nicht isoliert, sie verstärken sich gegenseitig als Multiplikatoren.

Dadurch verschiebt sich der Maßstab wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit grundlegend. Produktivität wird künftig nicht mehr allein durch die Automatisierung bestehender Prozesse definiert. Sie entsteht primär durch die Fähigkeit, extreme Komplexität zu beherrschen, Entscheidungsprozesse drastisch zu beschleunigen und Unsicherheiten in hochdynamischen Märkten systematisch zu reduzieren.

## Technologie als Hebel für Resilienz und Souveränität

Für die Digitale Wirtschaft bedeutet dies eine radikale Perspektivverschiebung. Zukunftstechnologien dürfen nicht länger nur als isolierte Effizienztreiber für einzelne Unternehmen betrachtet werden. Sie sind vielmehr die entscheidenden Hebel für gesamtwirtschaftliche Resilienz, Sicherheit und Souveränität.

Entscheidungen über die Adoption neuer Technologien wirken heute weit über die Grenzen einzelner Organisationen hinaus. Sie prägen ganze Wertschöpfungsketten, verändern Marktstrukturen, beeinflussen Arbeitsmärkte und definieren Innovationsökosysteme neu. Gleichzeitig wächst unsere Abhängigkeit von technologischen Infrastrukturen, die eine verantwortungsvolle politische, regulatorische und gesellschaftliche Einbettung erfordern.

## Gestaltungskraft statt technologischer Determinismus

Am Ende jeder technologischen Debatte steht der Mensch, nicht als limitierender Faktor, sondern als die entscheidende gestaltende Instanz. Quantentechnologien tragen keinen inhärenten Determinismus in sich; sie sind weder per se Fortschritt noch Risiko. Ihre tatsächliche Wirkung hängt einzig davon ab, welche Probleme wir mit ihnen lösen wollen und welche Werte wir dieser Lösung zugrunde legen.

Die Digitale Wirtschaft trägt hier eine besondere Verantwortung. Sie ist es, die technologische Potenziale in Produkte, Services und Geschäftsmodelle übersetzt, die unseren Alltag, unsere Arbeit und unsere gesellschaftliche Interaktion tiefgreifend prägen. Die zentrale Frage unserer Zeit lautet daher nicht, wie leistungsfähig Quantencomputer werden, sondern wofür wir diese beispiellose Kraft einsetzen: Investieren wir in kurzfristige Effizienzgewinne oder in nachhaltige, resiliente und vertrauenswürdige Systeme? Streben wir nach der maximalen Optimierung bestehender Märkte oder nach völlig neuen Formen von Wertschöpfung und gesellschaftlichem Nutzen?

Wer heute damit beginnt, den Kreislauf aus Innovation, Exploration, Foresight und Upskilling aktiv zu leben, bereitet sich auf weit mehr vor als nur auf das Quantenzeitalter.

Er stärkt die fundamentale Fähigkeit, den Wandel aktiv zu steuern, statt passiv von ihm getrieben zu werden.



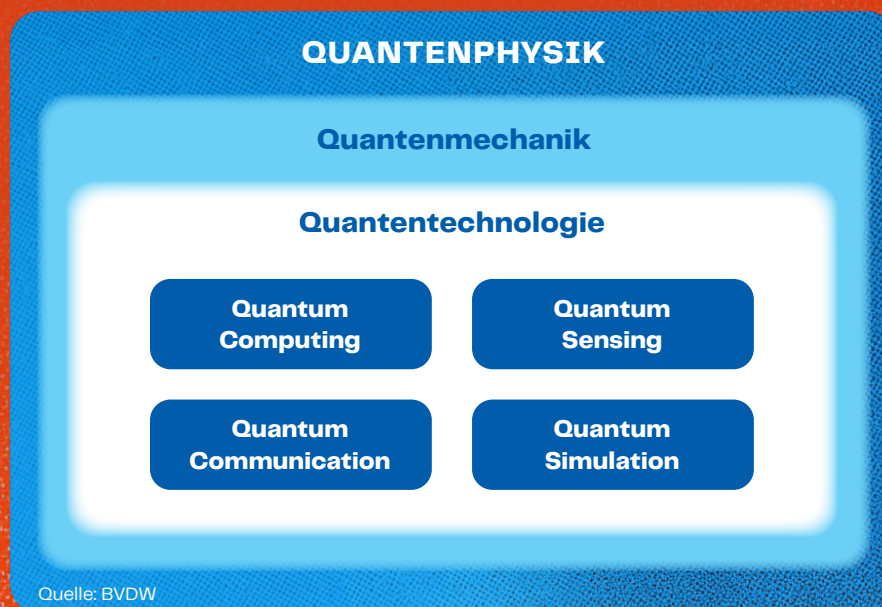
Autor:

**Carsten Rasner,**  
Geschäftsführender  
Vorstand,  
BVDW

# DEFINITIONEN

Um sich in der Quanten-Welt überhaupt orientieren zu können, braucht es eine klare Unterscheidung der zentralen Begriffe. Viele Begriffe, von Quantenphysik bis Quantencomputing, klingen ähnlich, beschreiben jedoch völlig unterschiedliche Ebenen: von grundlegender Wissenschaft über mathematische Modelle bis hin zu konkreten Technologien und Anwendungen. Ohne diese Abgrenzung erscheint das Quantenfeld schnell undurchsichtig, besonders für Einsteiger\*innen.

Eine saubere Begriffswelt hilft, das Thema zugänglich zu machen: Sie zeigt, was Grundlage, was Methode, was Technologie und was spezifische Anwendung ist. Dadurch wird erkennbar, wo Entwicklungen stattfinden, welche Kompetenzen benötigt werden und welche Bereiche für die Digitale Wirtschaft tatsächlich relevant werden.



### **Bell-Zustand (Bell State)**

Ein Bell-Zustand ist ein maximal verschränkter Zustand von zwei Qubits, in dem beide Teilchen perfekt korrelierte Ergebnisse liefern, unabhängig von ihrer räumlichen Entfernung. Er dient als grundlegender „Baustein“ für viele Protokolle in Quantenkommunikation und Quantenkryptografie.

### **Dekohärenz**

Die „Achillesferse“ des Quantencomputers: äußere Einflüsse wie Wärme oder Vibrationen zerstören den empfindlichen Quantenzustand. Das ist so, als würde man versuchen, eine Seifenblase in einem Sturm zu balancieren – extrem schwer stabil zu halten.

### **Digitale Souveränität**

(im Kontext Quantum)

Digitale Souveränität meint die Fähigkeit von Staaten und Unternehmen, kritische digitale Infrastrukturen und Schlüsseltechnologien wie Quantencomputing unabhängig und strategisch kontrolliert zu gestalten. Im Quantum-Kontext geht es darum, nicht ausschließlich von außer-europäischen Cloud- und Hardwareanbietern abhängig zu sein.

### **Fehlerkorrektur**

(Quantum Error Correction)

Quanten-Fehlerkorrektur sind aufwendige Verfahren, mit denen aus vielen fehleranfälligen physikalischen Qubits ein stabiles, „logisches“ Qubit gebildet wird. Erst durch robuste Fehlerkorrektur werden Quantencomputer für anspruchsvolle Geschäfts- und Sicherheitsanwendungen praktikabel.

### **FTQC**

(Fault Tolerant Quantum Computer)

Ein FTQC ist ein fehlertoleranter Quantencomputer, der dank Fehlerkorrektur auch bei vielen Rechenschritten verlässlich richtige Ergebnisse liefert. Solche Systeme gelten als Voraussetzung für wirklich disruptive Anwendungen etwa in Materialforschung, Chemie oder Finanzmodellierung.

### **Harvest Now, Decrypt Later / Store Now, Decrypt Later**

Darunter versteht man die Strategie, heute verschlüsselte Daten mitzuschneiden, um sie später mit leistungsfähigen Quantencomputern zu entschlüsseln. Für Unternehmen bedeutet das: Daten, die lange vertraulich bleiben müssen (z.B. Gesundheits-, Finanz- oder IP-Daten), sind schon heute von zukünftigen Quantenangriffen bedroht.

### **Hybrides Computing**

Da Quantencomputer noch jung sind, arbeiten sie oft im Team mit klassischen Computern. Der Quantencomputer übernimmt hochkomplexe Spezialaufgaben, während der klassische Rechner den Rest organisiert – ähnlich wie ein Formel-1-Team, bei dem der Fahrer die Höchstleistung bringt und die Boxencrew das Drumherum managt.

### **International Year of Quantum Science and Technology**

(IYQ 2025)

Das von den Vereinten Nationen ausgerufenen International Year of Quantum Science and Technology 2025 soll die Bedeutung der Quantenwissenschaft für Wirtschaft, Gesellschaft und Bildung sichtbar machen. Für Unternehmen signalisiert es einen politischen Wendepunkt: Quantentechnologien werden als strategische Infrastruktur verstanden, nicht mehr als reines Forschungsthema.

### **Krypto-Agilität** (Krypto-agile Systeme)

Krypto-agile Systeme sind IT-Architekturen, in denen sich Verschlüsselungsalgorithmen ohne große Umbauten austauschen oder ergänzen lassen. Das ist wichtig, um schrittweise von heutigen Verfahren auf post-quanten-sichere Algorithmen umstellen zu können, ohne den Betrieb zu gefährden.

### **Post-Quanten-Kryptografie** (PQC)

PQC umfasst kryptografische Verfahren, die auch gegenüber Angriffen leistungsfähiger Quantencomputer als sicher gelten. Sie sollen mittel- bis langfristig RSA und ECC in sicherheitskritischen Systemen ersetzen und werden bereits heute von Standardisierungsgremien vorbereitet.

### **Q-Day**

Bezeichnung für den Zeitpunkt, an dem Quantencomputer leistungsfähig genug sind, heutige Verschlüsselungsverfahren wie RSA oder ECC in praktikabler Zeit zu knacken – und damit die Datensicherheit im Internet grundlegend infrage stellen.

### **Quantencomputing**

Quantencomputing ist, wie eben bereits erläutert, ein spezialisiertes Teilfeld der Quantentechnologie, das Quantenmechanik zur Berechnung nutzt. Ein Quantencomputer rechnet mit Qubits, die dank Superposition und Verschränkung viele Zustände gleichzeitig repräsentieren können. Dadurch kann er bestimmte Problemklassen exponentiell schneller lösen als klassische Computer. Quantencomputing ist nicht dafür gedacht, alltägliche Aufgaben zu übernehmen, sondern hochkomplexe Probleme wie Optimierung, Simulation oder Kryptografie. Es gilt als potenziell disruptive Zukunftstechnologie.

### **Quantenbit** (Qubit)

Das Qubit befindet sich in unserem Modell auf der Ebene Quantencomputing, einem der innersten Bereiche des Quantentechnologie-Stacks. Es ist eine konkrete technische Umsetzung der quantenmechanischen Prinzipien Superposition und Verschränkung und bildet damit die elementare Recheneinheit aller Quantencomputer. Qubits treten ausschließlich in spezialisierten Quantenprozessoren auf, die in hochkontrollierten Laborumgebungen betrieben werden. Das Quantenbit ist das „Informationsatom“ eines Quantencomputers. Anders als das klassische Bit, das nur 0 oder 1 kennt, kann ein Qubit beides gleichzeitig sein, vergleichbar mit einem Lichtschalter, der nicht nur an oder aus ist, sondern gleichzeitig dazwischen schweben kann.

### **Quanteninterferenz**

Ein Effekt, bei dem Wahrscheinlichkeiten sich verstärken oder auslöschen können – ähnlich wie Wasserwellen, die sich überlagern. Quantencomputer nutzen Interferenz, um falsche Lösungswege „auszublenden“ und die richtigen zu verstärken.

### **Quantenmechanik**

Die Quantenmechanik ist ein Teilgebiet der Quantenphysik und liefert das mathematische Regelwerk, das die quantenhaften Eigenschaften beschreibt. Sie definiert präzise Modelle für Superposition, Verschränkung, Messprozesse und Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Während die Quantenphysik die gesamte Theorie umfasst, ist die Quantenmechanik ihr formaler Kern. Sie ist die Grundlage für alle quantentechnologischen Anwendungen. Ohne die Quantenmechanik wären moderne Sensoren, Laser oder Quantencomputer nicht denkbar.

### Quantenparallelität

Da Qubits mehrere Zustände gleichzeitig einnehmen können, kann ein Quantencomputer viele Rechenwege parallel ausführen. Bildlich: ein klassischer Computer durchsucht ein Labyrinth Gang für Gang, ein Quantencomputer geht alle Gänge gleichzeitig.

### Quantenphysik

Quantenphysik ist der übergeordnete Bereich der Physik, der die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten des Mikrokosmos beschreibt. Sie untersucht, wie Energie und Materie auf atomarer und subatomarer Ebene funktionieren. Dazu gehören Phänomene wie Wellen Teilchen Dualismus, Unschärferelationen, Energiequanten und Nicht Lokalität. Die Quantenphysik bildet das theoretische Fundament für eine Vielzahl moderner Technologien. Sie ist der breiteste Rahmen, aus dem alle quantenspezifischen Disziplinen hervorgehen.

### Quantentechnologie

Quantentechnologie bezeichnet die Anwendung quantenmechanischer Effekte in technischen Systemen. Sie umfasst vier Felder:

- **Quantencomputing**
- **Quantum Sensing**
- **Quantum Communication**
- **Quantum Simulation**

Ziel ist es, quantenphysikalische Eigenschaften wie Präzision, Sensitivität oder Rechenleistung technologisch nutzbar zu machen. Quantentechnologien verbinden Grundlagenforschung mit Ingenieursarbeit. Sie schaffen die Brücke zwischen Theorie und wirtschaftlich nutzbarer Innovation.

### Quantenüberlegenheit (Quantum Supremacy)

Der Punkt, an dem ein Quantencomputer eine Aufgabe in sinnvoller Zeit lösen kann, an der selbst die besten klassischen Supercomputer scheitern würden. Google demonstrierte dies 2019 erstmals in einem engen Spezialfall. Sie fanden ein mathematisches Problem, für dessen Lösung die zum damaligen Zeitpunkt besten Superrechner der Welt 10.000 Jahre brauchen. Der Quantencomputer von Google dagegen schaffte es in unter dreieinhalb Minuten – mit gerade mal 53 Qubits.

### Quantum Business Network (QBN)

Das Quantum Business Network ist ein Netzwerk, das Unternehmen, Start-ups und Forschung im Bereich Quantentechnologien vernetzt. Ziel ist es, Wissen zu teilen, Partnerschaften anzubahnen und gemeinsame Projekte entlang der Wertschöpfungskette zu ermöglichen.

### Quantum Communication

Quantum Communication überträgt Informationen mithilfe einzelner Quanten, meist Photonen und ermöglicht dabei eine abhörsichere Kommunikation. Der zentrale Effekt ist, dass jeder Abhörversuch messbar wird, weil die Quantenzustände sich beim Beobachten verändern. Bereits heute werden Quantenkommunikationsnetze aufgebaut, die langfristig ein „Quanteninternet“ ermöglichen sollen.

### Quantum Europe Strategy / Quantum Europe

Die Quantum Europe Strategy ist der strategische Rahmen der EU, um Europa zu einer führenden Quanten-Industriemacht zu entwickeln. Dazu gehören Investitionen in Hardware, Software, Pilotfertigung, Skills-Programme und die Integration von Quantencomputern in EuroHPC-Superrechenzentren.

### Quantum-Digital-Readiness / Quantum Readiness

Quantum-Digital-Readiness beschreibt, wie gut ein Unternehmen organisatorisch, technologisch und strategisch auf Quantentechnologien vorbereitet ist. Dazu zählen u.a. Wissen im Management, erste Use-Cases, Sicherheitsstrategie (PQC) sowie Zugang zu Partnern und Testumgebungen.

### Quantum Sensing

Quantum Sensing nutzt quantenmechanische Effekte wie Superposition und Verschränkung, um extrem präzise Messungen durchzuführen. Diese Sensoren können Größen wie Magnetfelder, Zeit, Temperatur oder Beschleunigung mit einer Genauigkeit erfassen, die klassische Sensorik weit übertrifft. Anwendungen reichen von medizinischer Bildgebung über Navigation ohne GPS bis hin zur Detektion minimaler Materialveränderungen.

### Quantum Simulation

Quantum Simulation verwendet künstlich erzeugte Quantensysteme, um andere komplexe Quantensysteme nachzubilden. Damit lassen sich Phänomene in Chemie, Materialwissenschaft und Physik untersuchen, die für klassische Rechner nicht effizient berechenbar sind. Das Ziel ist, neue Materialien, Katalysatoren oder Medikamente schneller und präziser zu entwickeln.

### Schrödingers Katze

Um die Eigenart der Superposition zu verdeutlichen, schlug Erwin Schrödinger 1935 ein Gedankenexperiment vor: Eine Katze sitzt in einer geschlossenen Box zusammen mit einem radioaktiven Atom. Zerfällt das Atom, löst es über einen Geigerzähler einen Mechanismus aus, der eine Ampulle mit Giftgas freisetzt. Solange die Box verschlossen bleibt, wissen wir nicht, ob das Atom zerfallen ist oder nicht – die Katze ist also gleichzeitig lebendig und tot. Erst das Öffnen der Box entscheidet den Zustand. Für Quantencomputer bedeutet das: Ein Qubit kann zugleich 0 und 1 repräsentieren, bis es gemessen wird.

### Quantum-Translators (Quanten-Übersetzer)

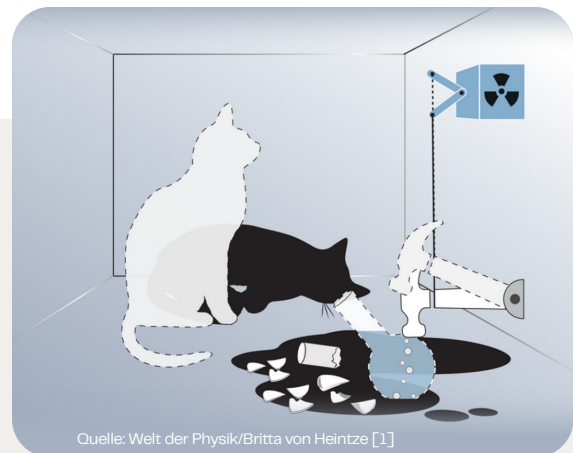
Quantum-Translators sind Rollenprofile, die zwischen Geschäftsanforderungen und Quantenexpert\*innen vermitteln. Sie identifizieren lohnende Problemstellungen, übersetzen sie in quantentaugliche Modelle und helfen, Investitionen und PoCs wirtschaftlich zu bewerten.

### Superposition

Der Zustand, dass ein Qubit gleichzeitig 0 und 1 sein kann. Man kann sich das vorstellen wie eine Münze, die in der Luft rotiert: solange sie fliegt, ist sie Kopf und Zahl zugleich. Erst wenn sie auf den Boden fällt (Messung), zeigt sie eindeutig Kopf oder Zahl.

### Verschränkung (Entanglement)

Zwei oder mehr Qubits können sich so stark miteinander verbinden, dass der Zustand des einen sofort den des anderen bestimmt – egal wie weit sie voneinander entfernt sind. Ein praxisnahes Bild: wie zwei perfekt synchronisierte Würfel, die immer nach einem Wurf dieselbe Zahl zeigen, selbst wenn einer in Frankfurt und der andere in New York liegt.



Quelle: Welt der Physik/Britta von Heintze [1]



## Autor\*innen und Interview-Partner\*innen:



### **Simon Boé**

Geschäftsführer,  
onehundred.digital GmbH



### **Katharina Jäger**

Head of Innovation & Technology,  
BVDW



### **Robin De Brujin**

Director Business &  
Transformation strategy,  
denkwerk



### **Janek Kuberzig**

Public Affairs Manager  
Data & Technology, BVDW



### **Heike Fuhrmann**

Director Development &  
Innovation,  
iq digital



### **Klaus Landsdorf,**

Co-Founder & CEO, Iniationware  
GmbH und BIANCO ROYAL LLC.



### **Dr. Jan Goetz**

IQM Quantum Computer



### **Georg Obermayr**

Technical Evangelist,  
schalk&friends



### **Prof. Dr. Bettina Just**

Technischen Hochschule  
Mittelhessen (THM)



### **Carsten Rasner**

Geschäftsführender Vorstand,  
BVDW



### **Kim Karina Haußer**

Head of Bonsai Future,  
Bonsai Research



### **Fynn Schulze**

Innovation-Manager /  
Lead DMEXCO,  
BVDW



### **Prof. Dr. Gerhard Hellstern**

Duale Hochschule  
Baden-Württemberg



### **Georg Wolf**

Dozent an der IU München und  
Chief Innovation Officer,  
OMG E-Commerce GmbH



### **Prof. Dr. Jörg Hettel**

Hochschule Kaiserslautern

# Unsere Quellen

- Seite 2 **Hundert Jahre nach Max Planck – Warum die Digitale Wirtschaft jetzt Quantencomputing verstehen muss.**  
Quelle: [1] Vgl. United Nations, <https://docs.un.org/en/A/RES/78/287?>
- Seite 7 **Tipps der Redaktion: Quantencomputing in der Popkultur.**  
Quelle: [1] Vgl. Serie „Dark“ (Netflix), <https://dark.netflix.io/de>
- Seite 16–19 **Quantentechnologien als Schlüssel zur Zukunft – Politikpläne in Deutschland und Europa.**  
Quelle: [1] Vgl. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/quantum-europe-strategy>
- Seite 30–31 **Quantum als Superposition: Wer investiert, wie viel und warum jetzt?**  
Quelle: [1] McKinsey (Marktübersicht 2025): <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-year-of-quantum-from-concept-to-...>  
Quelle: [2] PsiQuantum (Finanzierung): <https://www.dakota.com/resources/blog/psiquantum-1b-se-ries-e-highlights-investor-rush-into-quantum-...>  
Quelle: [3] Quantinuum/Honeywell (Kapitalerhöhung): <https://www.quantinuum.com/press-releases/honeywell-announces-600-million-capital-raise-for-quantin...>  
Quelle: [4] PsiQuantum (Standort Chicago): <https://www.reuters.com/business/psi-quantum-breaks-ground-chicago-quantum-site-after-1-billion-fund...>  
Quelle: [5] Regierungsinvestitionen (Australien): <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/governments-of-australia-and-queensland-invest-620m-in-q...>  
Quelle: [6] EU Privatfinanzierung: <https://www.reuters.com/business/eu-turns-private-funding-boost-quantum-technology-ambition-2025-07...>  
Quelle: [7] IonQ (Börsen-News): <https://www.barrons.com/articles/ionq-stock-earnings-quantumcomputing-9192136b>
- Seite 36–38 **Runter von der Spielwiese, rauf auf die Bilanz: Wo liegt der goldene Quantum-Hebel?**  
Quelle: [1] Quellen (Anwendungsbeispiele Logistik & Fertigung):  
Logistik (Leerfahrten vermeiden): <https://invoitix.com/de/leerfahrten-wie-lassen-sie-sich-vermeiden/>  
Quelle: [2] Fertigung/Kosten (Boeing Case Study): <https://www.seattletimes.com/business/boeing-celebrates-787-delivery-as-programs-costs-top-32-billi...>
- Seite 54–55 **Von der Technologie zur Gestaltungskraft: Der Auftrag an die Digitale Wirtschaft**  
Quelle: [1] Vgl. McKinsey <https://www.mckinsey.de/news/presse/2025-06-24-quantum-technology-monitor-2025>
- Seite 56–60 **Definitionen: Grundbegriffe des Quantencomputings.**  
Quelle: [1] Welt der Physik / Britta von Heintze

## Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V.

Der Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V. ist die Interessenvertretung für Unternehmen, die digitale Geschäftsmodelle betreiben oder deren Wertschöpfung auf dem Einsatz digitaler Technologien beruht. Als Impulsgeber, Wegweiser und Beschleuniger digitaler Geschäftsmodelle vertritt der BVDW die Interessen der digitalen Wirtschaft gegenüber Politik und Gesellschaft und setzt sich für die Schaffung von Markttransparenz und innovationsfreundlichen Rahmenbedingungen ein. Sein Netzwerk von Expert\*innen liefert mit Zahlen, Daten und Fakten Orientierung zu einem zentralen Zukunftsfeld. Neben der DMEXCO und dem Deutschen Digital Award richtet der BVDW eine Vielzahl von Fachveranstaltungen aus. Mit Mitgliedern aus verschiedensten Branchen ist der BVDW die Stimme der Digitalen Wirtschaft.

[www.bvdw.org](http://www.bvdw.org)

## FIT-Expert Group

Die FIT-Expert Group ist ein Think Tank, der die Expertise unserer Mitglieder über alle Gremien hinweg bündelt, um gemeinsam die digitale Transformation aktiv zu gestalten. Wir identifizieren zukunftsweisende Technologien und Innovationspotenziale, um die Wirtschaft in Deutschland fit für die Zukunft zu machen und als Verband eine führende Rolle in der digitalen Innovation einzunehmen.

Unser Ziel ist es, Wachstum durch digitale Innovationen zu fördern und den BVDW und unsere Mitglieder als Zukunftsgestalter zu positionieren.

[www.bvdw.org/future-innovation-technology-fit/](http://www.bvdw.org/future-innovation-technology-fit/)



Impressum

### #QuantumWorks

Erscheinungsort und -datum	Berlin, Mai 2026
Herausgeber	Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V. Schumannstraße 2, 10117 Berlin, +49 30 2062186-0, info@bvdw.org, www.bvdw.org
Vorstand gem. § 26 BGB	Carsten Rasner
Präsident	Dirk Freytag
Vizepräsident*innen	Thomas Duhr, Anke Herbener, Corinna Hohenleitner, Dr. Moritz Holzgraefe, Julian Simons, Eva Werle
Kontakt	Katharina Jäger, Leiterin Innovation & Technology, jaeger@bvdw.org Fynn Schulze, Innovation-Manager / Lead DMEXCO, schulze@bvdw.org
Vereinsregisternummer	Amtsgericht Charlottenburg. VR 42449 B
Rechtshinweise	Alle in dieser Veröffentlichung enthaltenen Angaben und Informationen wurden vom Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V. sorgfältig recherchiert und geprüft. Diese Informationen sind ein Service des Verbandes. Für Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität können weder der Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V. noch die an der Erstellung und Veröffentlichung dieses Werkes beteiligten Unternehmen die Haftung übernehmen. Die Inhalte dieser Veröffentlichung und / oder Verweise auf Inhalte Dritter sind urheberrechtlich geschützt. Jegliche Vervielfältigung von Informationen oder Daten, insbesondere die Verwendung von Texten, Textteilen, Bildmaterial oder sonstigen Inhalten, bedarf der vorherigen Zustimmung durch den Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V. bzw. die Rechteinhaber (Dritte). EU-Transparenzregister-Nummer 479540331468-69 Deutsches Lobbyregister: R000257 Dieses Paper wurde unter Verwendung von künstlicher Intelligenz angefertigt.



Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V.  
Obentrautstraße 55, 10963 Berlin  
[www.bvdw.org](http://www.bvdw.org)