



Focus

Roland Berger

Quantencomputer |
Wann kommt der Durchbruch?

Quantencomputer / *Wann kommt der Durchbruch?*

Trotz Covid-19-Krise und nach wie vor ungelöster technischer Fragen hat sich in vielen europäischen Unternehmen ein Quantenoptimismus breitgemacht. Eine Mehrheit der von uns befragten Führungskräfte – quer durch alle Industrien und Länder – glaubt, dass sich der digitale Wandel mit der allgemeinen Verfügbarkeit von Quantenrechnern stark beschleunigen wird.

Als heißeste Disruptionskandidaten gelten allgemein die Auto-, Pharma- und Chemieindustrie sowie die Finanz- und Transportbranche. Hier wird die Umstellung von Bits auf Qubits die größte Auswirkung auf die bestehenden Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten entfalten. Das ist auch der Grund, warum Topmanager die Quantentechnologie künftig stärker in ihre strategischen Planungen einbeziehen wollen.

Zwar konnte der Bereich Quantencomputing als Ganzes in den letzten Jahren beachtliche Fortschritte vorweisen. Unsere Analyse zeigt aber, dass es noch einige technologische Hürden zu überwinden gilt: Die Technik ist störanfällig und lässt sich nicht ohne Weiteres skalieren. Der Investitionsbereitschaft hat das erstaunlicherweise bisher keinen Abbruch getan. Weltweit investieren Regierungen und Risikokapitalgeber Rekordsummen in den Quantenbereich. Daraus könnte eine Dynamik entstehen.

Wer den Anschluss nicht verpassen will, sollte deshalb bereits jetzt eine entsprechende Quantenstrategie ausarbeiten. Vier Schritte sind aus unserer Sicht für Unternehmen essenziell:

1. Den technischen Fortschritt genau beobachten und schnell handeln
2. Strategisch wichtige Partner an Bord holen
3. Die IT-Infrastruktur für das Quantenzeitalter aufrüsten
4. Die Fantasie schweifen lassen und das eigene Geschäftsmodell hinterfragen

- 4 **1 Ungewissheit und Chancen:
Ein neuer Optimismus macht sich breit**
Fortschritte beim Bau eines universalen Quantenrechners
- 5 **2 Was ist Quantencomputing?**
Mithilfe der Quantenmechanik in ein neues Computerzeitalter
- 10 **3 Bereit für die Disruption?**
Der Einfluss auf unterschiedliche Branchen
- 17 **4 Ausblick auf die nächsten Jahre**
Nie war das Umfeld für Quantencomputing günstiger
- 20 **5 Unsere Empfehlungen**
Unternehmen müssen sich auf das Quantenzeitalter vorbereiten

1 / Ungewissheit und Chancen: Ein neuer Optimismus macht sich breit

FORTSCHRITTE BEIM BAU EINES UNIVERSALEN QUANTENRECHNERS

Es ist nicht zu leugnen: In den zurückliegenden Jahren hat sich der Forschungsbereich "Quantencomputing" rasant entwickelt. Die Erfolgsmeldungen überschlagen sich. Vorbei sind jedenfalls die Zeiten, in denen Forscher im Labor mühevoll einzelne Qubits – die elementare Informationseinheit eines Quantencomputers – präparieren müssen. Die Zahl der verbauten Qubits steigt kontinuierlich. Die Prototypen werden immer leistungsfähiger. Auch Weltkonzerne sind in das Rennen um den ersten universal einsetzbaren Qubit-Rechner eingestiegen.

Irgendetwas muss also dran sein an diesem Streben nach der "Quantum Supremacy" – der Überlegenheit der Quantencomputer. Diese ist, grob gesagt, dann erreicht, wenn ein Quantencomputer eine Aufgabe löst, die für einen klassischen Rechner unlösbar ist. Oder für die ein klassischer Rechner sehr lange bräuchte. Ab welcher Schwelle dieser Meilenstein erreicht wäre, ist unter Forschern umstritten. Eine klare Definition fehlt.

Aus der Sicht von Google ist der Meilenstein beispielsweise bereits gefallen. Wissenschaftler des Tech-Konzerns zeigten jüngst in einem Laborexperiment eine Kalkulation auf ihrem 53-Qubit-Quantencomputer, bei der sie selbst generierte Muster in Zufallszahlen analysierten. Nach Googles Einschätzung hätte eine ähnliche Auswertung auf einem klassischen Supercomputer 10.000 Jahre gedauert.¹ Fragt man hingegen den Konkurrenten IBM, so beweist das Experiment allenfalls einen sogenannten Quantenvorteil². In der Lesart der IBM-Forscher hätte die Berechnung des Google-Quantencomputers auf einem klassischen Computer in 2,5 Tagen erfolgen können – und dies mit noch größerer Präzision.³

Für die unterschiedlichen Meinungen von IBM und Google gibt es eine einfache Erklärung: Ihren Schlussfolgerungen liegen unterschiedliche Simulationsannahmen zugrunde. Während Googles Quantenforscher für ihren Vergleich nur den maximal verfügbaren Arbeits-

speicher des klassischen Rechners heranziehen, bezieht IBM auch den verfügbaren Speicherplatz auf Festplatten in seine Simulationsrechnung mit ein. Ein durchaus sinnvoller Schritt, ist diese Variante doch viel näher an der heutigen Realität, in der große Datenmengen vorrangig auf Festplatten gelagert werden.

Natürlich handelt es sich sowohl bei Googles Laborexperiment als auch bei IBMs Kontersimulation in erster Linie um eine beeindruckende (Software-) Ingenieurleistung. Für die Lösung von Alltagsproblemen ist der 53-Qubit-Rechner von Google noch ungeeignet. Trotzdem zeigt das Experiment, dass ein Quantencomputer zumindest theoretisch eine Aufgabe deutlich schneller zu Ende führen kann, als dies mit klassischen Rechnern möglich ist. Im Dezember 2020, vierzehn Monate nach Googles Erfolgsmeldung, konnten chinesische Forscher diesen Quantenvorteil erneut bestätigen.⁴

Zusätzlich konnte IBM bei der konkreten Umsetzung in der Praxis jüngst ebenfalls einige Fortschritte vermelden: Dem Tech-Konzern gelingt es Jahr um Jahr, die Leistung seiner Quantenrechner zu verdoppeln. Für 2023 hat IBM nun einen Computer mit mehr als 1000 Qubits angekündigt⁵ – eine Marke, die nach wie vor weit von der entscheidenden Grenze von einer Million Qubits entfernt ist, die laut IBM für einen universal einsetzbaren ("large-scale") Quantencomputer benötigt würde, aber ein weiterer Schritt in die richtige Richtung. Andere Hardware-Hersteller, unter ihnen das Unternehmen

¹ The Economist, Google claims to have demonstrated "quantum supremacy" (28. September 2019)

² Ein Quantenvorteil zeigt nach wie vor einen Geschwindigkeitsvorteil des Quantencomputers, allerdings ist die Rechenaufgabe noch in vertretbarer Zeit mit einem klassischen Computer lösbar

³ Edwin et al., Leveraging Secondary Storage to Simulate Deep 54-qubit Sycamore Circuits (IBM T.J. Watson Research Center, 19. Oktober 2019)

⁴ Science, Quantum computational advantage using photons (3. Dezember 2020)

⁵ Gambetta, Jay, IBM's Roadmap For Scaling Quantum Technology, (IBM Research Blog, 15. September 2020)

2 / Was ist Quantencomputing?

MITHILFE DER QUANTENMECHANIK
IN EIN NEUES COMPUTERZEITALTER

Honeywell oder das Startup PsiQ, geben sich ähnlich optimistisch. Gleiches gilt für Software-Anwendungen. Ein Beispiel: Eine Ausgründung der Cambridge University vermeldete jüngst den ersten erfolgreichen Test eines universalen Quantenbetriebssystems.⁶

Wie hat die Wirtschaft diese Erfolgsnachrichten aufgenommen? Hat sich in den letzten Monaten der Blick von Unternehmen speziell in Europa auf Quantencomputing verändert? Von welchen Anwendungen könnten sie profitieren? Und welche Industrien werden sich durch die Verfügbarkeit von Quantenrechnern am stärksten wandeln?

In den folgenden Kapiteln werden wir uns genau diesen Fragen zuwenden. Zum besseren Verständnis soll die Funktionsweise von Quantencomputing aber zunächst in seinen Grundzügen erklärt werden.

In der Quantenmechanik regieren Zustandswahrscheinlichkeiten. Schrödingers Katze könnte demnach zu 70 Prozent tot und zu 30 Prozent lebendig sein.

Wer sich mit Quantencomputing beschäftigt, muss zwangsläufig in die seltsame Welt der Quantenmechanik eintauchen. Eine Welt, in der die Regeln der klassischen Physik nicht gelten und die mitunter verstörende Erkenntnisse bereithält. "Sie gefällt mir nicht. Ich will nichts mit ihr zu tun haben", soll Erwin Schrödinger über sie gesagt haben. Immerhin einer der Väter der Quantentheorie.

In seinem berühmten Gedankenexperiment von der toten und zugleich lebendigen Katze hat Schrödinger eines der wichtigsten Prinzipien der Quantentheorie nachgewiesen: Die Überlagerung von Zuständen. Im Fachjargon wird sie Superposition genannt und meint, dass ein Quantenteilchen anteilig in mehreren Zuständen existieren kann. Genauer gesagt spricht man in der Quantenmechanik von Wahrscheinlichkeiten, einen bestimmten Zustand vorzufinden. Schrödingers Katze könnte demnach zu 70 Prozent tot und zu 30 Prozent lebendig sein. Was tatsächlich der Fall ist, findet man erst heraus, wenn man eine Messung vollführt. Im Fall von Schrödingers Katze hieße das: die Box aufmachen und nachschauen.

QUBITS UND EXPONENTIELL WACHSENDE RECHENPOWER

Mit einem klassischen Computer hat ein Quantencomputer so gut wie nichts mehr gemein. Herkömmliche Rechner arbeiten mit Bits, die bekanntlich nur zwei Zustände kennen: 0 oder 1. Für einen Quantencomputer gilt diese Beschränkung nicht mehr. Seine Informationseinheit ist das deutlich leistungsfähigere Qubit (Quantenbit).

Qubits sind Quantenteilchen – beispielsweise Elektronen – deren zwei Zustände oben beschriebenen Wahrscheinlichkeiten unterliegen. Ein Qubit wird also durch die zwei Wahrscheinlichkeiten definiert, es in einem möglichen (1) oder einem anderen möglichen Zu-

⁶ Venkataramakrishnan, Siddharth, Quantum operating system trialled successfully (FT, 31. August 2020)

stand (0) vorzufinden. Am Ende der Messung können sich aber selbst Quantenteilchen nur in einem einzigen Zustand befinden. Zusammengerechnet müssen die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten vor der Messung daher immer 1 (= 100 Prozent) ergeben.

Allgemein gesprochen lassen sich die Quanten-Wahrscheinlichkeiten präparieren, verändern und auslesen. Das ist die Voraussetzung, um Berechnungen mit ihnen durchzuführen. Besonders bemerkenswert ist da-

bei, dass über die Zustandswahrscheinlichkeiten eines Qubit jede beliebige Zahl dargestellt werden kann. Eine Aufgabe, an der ein klassischer Computer scheitert. → **A**

Ein Beispiel: Um die Zahl 1.037.982 darzustellen, bräuchte man 20 klassische Bits, aber nur 1 Qubit. Wird die Zahl größer, brauchen wir mehr und mehr klassische Bits. In der Quantenmechanik reicht uns weiterhin 1 Qubit – wir müssen lediglich genauer messen können.

Aber das ist nicht der einzige Unterschied zum klas-

A: Qubit schlägt Bit

Mit einem einzigen Qubit lassen sich nahezu beliebig große Zahlen darstellen

QUANTENCOMPUTER



1 Qubit

Wahrscheinlichkeit für Zustand 1:
24,3%

In Dezimalen ausgedrückt:
0,243

Multipliziert mit 1.000:
243



1 Qubit

Wahrscheinlichkeit für Zustand 1:
10,37982%

In Dezimalen ausgedrückt:
0,1037982

Multipliziert mit 10.000.000:
1.037.982

*Größere Zahlen benötigen
keine größere Anzahl an Qubits*



KLASSISCHER COMPUTER

Mit 8 Bits lässt sich die Dezimalzahl **243** binär codieren

2^7 **1 1 1 1 0 0 1 1** 2^0

Mit 12 Bits lässt sich die Dezimalzahl **3.980** binär codieren

2^{11} **1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0** 2^0

Mit 16 Bits lässt sich die Dezimalzahl **56.814** binär codieren

2^{15} **1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0** 2^0

Mit 20 Bits lässt sich die Dezimalzahl **1.037.982** binär codieren

2^{19} **1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0** 2^0

*Größere Zahlen benötigen
eine immer größere Anzahl an Bits*

sischen Bit: Ein Qubit kann mit anderen Qubits verkoppelt werden. Physiker sprechen in diesem Zusammenhang von einer "Verschränkung". Die Verschränkung ist dafür verantwortlich, dass sich die Anzahl der Zustände der Gesamtgruppe der Qubits mit jedem weiteren Qubit verdoppelt. Schon eine kleine Erhöhung der Anzahl der verschränkten Qubits hat deshalb enorme Auswirkungen. Mit fünf Qubits können wir 32 Wahrscheinlichkeiten – also potenzielle Rechenwerte – darstellen. → **B**

PRAKTISCHE BESCHRÄNKUNGEN UND EINE STÖRANFÄLLIGE TECHNIK

In der Praxis führt die Verschränkung der Qubits zu einem handfesten Problem: Um an das Ergebnis einer Berechnung zu gelangen, müssen die Wahrscheinlichkeiten eines jeden Qubit auch bekannt sein. Das heißt, sie müssen gemessen und ausgewertet werden. Dieser exponentielle Zusammenhang (mit der Verpflichtung,

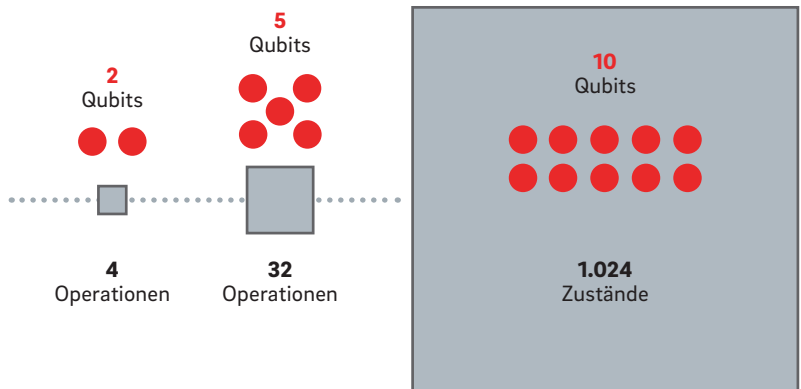
B: "Spukhafte" Quantenmechanik

Die Funktionsweise von Bits und Qubits unterscheidet sich beträchtlich

KLASSISCHE BITS VS. QUBITS



VERSCHRÄNKUNG UND EXPONENTIELLE RECHENPOWER



sich um alle vorhandenen Werte zu kümmern), ist Fluch und Segen zugleich. Positiv betrachtet erlaubt er es uns, eine riesige Anzahl an Werten gleichzeitig darzustellen und mit all diesen Werten auch simultan Rechenoperationen durchzuführen. Zur Erinnerung: Mit 20 Qubits hätte man Zugriff auf über eine Million Werte gleichzeitig.

Negativ betrachtet müssen alle diese Werte auch verwaltet werden. Fällt auch nur ein einziger Wert aus der Reihe, führt er im schlimmsten Fall zu einem insgesamt falschen Rechenergebnis. Schon bei 1000 Qubits müsste man mehr Werte verwalten, als es Atome im Universum gibt – ein Gedanke, bei dem selbst Physiker den Kopf schütteln. Die sichere Beherrschung vieler Qubits ist jedenfalls eine der entscheidenden Hürden auf dem Weg zum universal einsetzbaren Quantencomputer

Hinzu kommt noch: Die Inbetriebnahme eines Quantencomputers ist ebenfalls alles andere als einfach. Die minimalsten Temperaturschwankungen oder der Kontakt mit Luftmolekülen genügen, um sie aus dem Gleichgewicht zu werfen. Daran hat auch das Design der Quantencomputer bisher nichts geändert. Um die Quantenprozessoren einigermaßen am Laufen zu halten, werden sie in der Regel auf minus 273 Grad Celsius heruntergekühlt, nahe dem absoluten Nullpunkt. Trotzdem lässt sich der gewünschte Überlagerungszustand der Qubits aktuell nur für einige Hundert Millisekunden aufrechterhalten. Dann kollabiert das Quantensystem. Die Rechenfähigkeit der Qubits erlischt.

DER QUANTENDURCHBRUCH – EINE ILLUSION?

Sind die technischen Hürden zu groß, um sie jemals überwinden zu können? Aus unserer Sicht ist das nicht der Fall. Dass zumindest eine realistische Chance auf den Quantendurchbruch besteht, zeigen die Anstrengungen vieler Hardware-Entwickler. Auch die Quantum Roadmap von IBM nennt die 1-Million-Qubit-Marke als ehernes Ziel und setzt alles daran, dies auch zu er-

INFOBOX

Physische Qubits und der lange Weg zur Fehlerkorrektur

Es gibt Wege, um die Fehleranfälligkeit von Quantenrechnern zu minimieren: hauptsächlich, indem man noch mehr Qubits einsetzt, um die Ergebnisse anderer Qubits zu prüfen. Diese Art der Fehlerkorrektur wird auch in klassischen Rechnern angewandt und ermöglicht überhaupt erst die heute abrufbaren Leistungen. Man spricht in diesem Zusammenhang von physischen und logischen Qubits.

Ein logisches Qubit ist fehlerkorrigiert und kann ohne weitere Einschränkungen für Rechenoperationen verwendet werden. Die entscheidende Frage lautet aber: Wie viele physische Qubits benötigt man, um ein logisches Qubit zu erhalten?

Die kurze Antwort lautet: 1000 physische Qubits. Bei einer Mindestanforderung von 1000 logischen Qubits bräuchte man demnach einen Quantencomputer mit insgesamt einer Million (physischen) Qubits. Eine Mammutaufgabe, von der sich aus heutiger Sicht noch nicht sagen lässt, ob und wann sie gelöst werden kann.

reichen.⁷ Andere Unternehmen folgen diesem Beispiel. Dazu passt es, dass die Zahl der Hardware-Entwickler in den zurückliegenden Jahren stetig gewachsen ist. Aktuell versuchen sich mehr als 85 Organisationen am Bau eines Quantencomputers.⁸

Entsprechend groß ist die Zahl der Hardware-Ansätze, mit denen im Moment experimentiert wird. Google und IBM setzen beispielsweise auf supraleitende Qubits, deren Quantenzustände mit Mikrowellenimpulsen verändert werden. Andere Modelle bevorzugen Ionen-Qubits, die mit einem Laser manipuliert werden. Darüber hinaus gibt es weniger ausgereifte Verfahren

C: Kein Sieger in Sicht

Ein Überblick über die wichtigsten Quanten-Hardwareansätze

Quanten-technologien	SUPRALEITEND	IONISCH	PHOTONISCH	TOPOLOGISCH	ADIABATISCH
Hersteller	Google, IBM, Rigetti	IonQ, Honeywell	PsiQ	Microsoft	D-Wave
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> Nutzt die Ladung, den Strom oder die Energie von supra-leitenden Schaltkreisen Manipulation elektrisch Dem klassischen "Chip" am ähnlichsten 	<ul style="list-style-type: none"> Einzelne Ionen im Vakuum werden mittels einer elektromagnetischen Falle gefangen Manipulation der Qubits via Laser Qubits sind mobil und könnten auch an andere Orte gebracht werden (Quantennetzwerk mittels Verschränkung) 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzt Eigenschaften von Photonen (Polarisation, Drehimpuls, Anzahl, Zeit) zur Darstellung von Informationen Manipulation mithilfe von optischen Medien, Lasern und Photodetektoren Mobile Qubits möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzt zweidimensionale Quasipartikel (Anyonen), die etwas weniger anfällig für externe Einflüsse sein sollen. Allerdings ist dieses Konzept bisher nur in der Theorie beheimatet 	<ul style="list-style-type: none"> Kein "echter" Quantencomputer Qubits werden so manipuliert, dass ihr energie günstigster Grundzustand einer Problemlösung entspricht Lässt das System sich selbst optimieren, dann Messung Nicht für Verschränkung und nur für bestimmte Optimierungsprobleme geeignet

Quelle: Roland Berger

wie photonische Quantenrechner, denen ebenso großes Potenzial eingeräumt wird.

Eine wichtige Unterstufe stellen sogenannte adiabatische Quantencomputer oder "Quantum Annealer" dar. Diese eignen sich aufgrund ihrer Konzeption nur für die Lösung von Optimierungsproblemen. Nichtsdestotrotz könnten sich diese Maschinen für die Wirtschaft als interessant erweisen, sobald sie in puncto Fehlerrate eine gewisse Marktreife erlangt haben. Die technischen Hürden für die Skalierbarkeit liegen hier um Größen-

ordnungen niedriger als bei voll ausgereiften Quantencomputern. → C

Allgemein gilt: Jede Hardware-Lösung hat ihre Vorzüge. Die eine lässt sich technisch leichter umsetzen, die andere punktet mit einer niedrigen Fehlerrate oder einer besonders hohen Rechengeschwindigkeit. Welche Vorteile am Ende den Unterschied machen, bleibt abzuwarten. Denkbar sind prinzipiell zwei Szenarien: Entweder es findet sich ein Pendant zum klassischen Transistor, das heißt ein einzelner technologischer Ansatz unter allen Aspiranten, der sich am Ende durchsetzt. Oder aber es etablieren sich mehrere Technologien, die sich unterschiedlich gut für unterschiedliche Einsatzgebiete eignen.

⁷ FIBM's Roadmap For Scaling Quantum Technology (15. September 2020)

⁸ Quantum Computing Report, Comments on Honeywell's Announcement of the World's Highest Performance Quantum Computer (20. Juni 2020)

3 / Bereit für die Disruption?

DER EINFLUSS AUF UNTERSCHIEDLICHE BRANCHEN

Es ist schwierig, wenn nicht gar unmöglich, das Marktvolumen einer Industrie abzuschätzen, die sich gerade erst im Entstehen befindet. Im Fall von Quantencomputing hat man es dennoch vielfach versucht. Zum Beispiel, indem das Potenzial zukünftiger Quantenrechner aus dem aktuellen Markt für Supercomputer abgeleitet wurde. Aus unserer Sicht greifen derlei Analysen zu kurz.

Wie wir im Folgenden zeigen, werden durch Quantencomputer völlig neue Anwendungen möglich. Ihr wirtschaftlicher Wert lässt sich aus heutiger Sicht nicht bestimmen. Genauso wenig werden Quantenrechner herkömmliche Computer obsolet machen. Es wird auch mit Quantencomputern noch Bereiche geben, in denen Bits den Qubits überlegen sind – unter anderem bei der Steuerung eines Quantencomputers. Wie stark die Quantentechnologie deshalb einen bestehenden Markt verändert, ist völlig offen.

Wir glauben, dass sich mit der Marktreife von Quantencomputern viele Geschäftsmodelle in vielen Industrien massiv verändern und neue entstehen werden. Zwar fehlt bis jetzt ein kommerziell erfolgreicher Anwendungsfall für die aktuell noch sehr rudimentären Maschinen – ein Punkt, auf den Kritiker gerne hinweisen. Wie so oft ist aber auch hier der Weg bereits das Ziel: Denn Fortschritte aus dem Bereich Quantencomputing lassen sich leicht auf andere Bereiche übertragen, wie die Vergangenheit bereits gezeigt hat. Außerdem benötigen die vielen Quantenrechner neue Bauteile und Instrumente, die entwickelt und produziert werden müssen. Entstanden ist so ein für Zulieferer lukrativer neuer Markt, der auch in den nächsten Jahren stark wachsen wird. In der Industrie ist die neue Aufbruchstimmung jedenfalls ungebrochen. Das zeigt auch unsere Umfrage unter europäischen Führungskräften, deren Ergebnisse wir im nächsten Kapitel vorstellen.

3.1 UMFRAGE UNTER FÜHRUNGSKRÄFTEN ZUR "QUANTENBEREITSCHAFT"

An Early Adopters in der Industrie mangelt es nicht. Immer wieder machen Meldungen von einzelnen Unternehmen die Runde, die vorpreschen und erste Use Cases für Quantencomputer erproben. Ganz vorne mit dabei: Automobilkonzerne, Banken und die Chemiebranche. Aber wie denkt der Rest über die neue Technologie? Spielt Quantencomputing in den strategischen Überlegungen der Unternehmen überhaupt eine Rolle? Und ziehen sie die richtigen Schlüsse aus den jüngsten Fortschritten und Erfolgsmeldungen?

Um Antworten auf diese Fragen zu erhalten, haben wir eine Umfrage unter 110 Führungskräften durchgeführt – quer durch alle Industrien und europaweit. Das Ziel war es, ein möglichst aussagekräftiges Stimmungsbild zur Einschätzung von Quantencomputing zu erhalten. Die Ergebnisse sind in vielerlei Hinsicht erhellend.

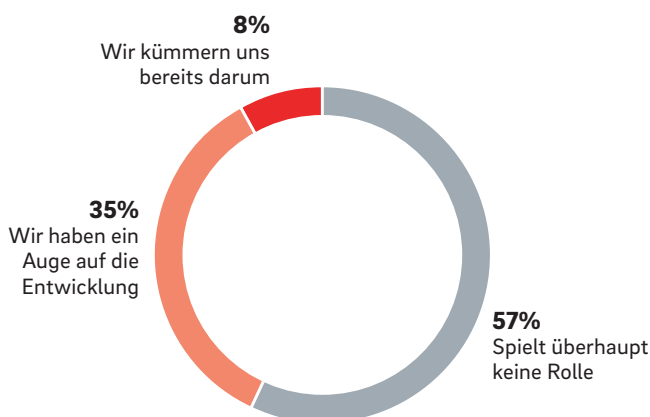
Eine große Mehrheit der Führungskräfte geht davon aus, dass sich das eigene Geschäftsmodell durch Quantencomputing in den nächsten zehn Jahren signifikant verändern wird. Entweder, weil die Technologie den ohnehin schon stattfindenden Wandel zusätzlich beschleunigt (42 Prozent). Oder aber, weil Quantencomputing neue Disruptionen verursacht (23 Prozent). → **D**

Interessant ist vor diesem Hintergrund, dass Quantencomputing in den strategischen Überlegungen der allermeisten Unternehmen bis jetzt keine tragende Rolle spielt. Nur ein kleiner Prozentsatz der Befragten (8 Prozent) bezieht den bevorstehenden Wandel konkret in seine Planungen mit ein. Verglichen mit den Antworten auf die vorherige Frage ist das ein Widerspruch: Führungskräfte haben die Wichtigkeit des Themas zwar erkannt, ziehen daraus aber (noch) keine Schlüsse für die Unternehmenspraxis. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass für den Wandel erst interne Widerstände überwunden werden müssen oder der

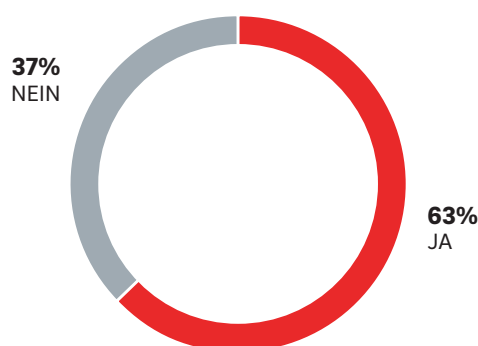
D: Interessant, aber noch weit weg

Wie Führungskräfte auf die Quantentechnologie blicken

WELCHE ROLLE SPIELT QUANTENCOMPUTING IN IHREN AKTUELLEN STRATEGISCHEN ÜBERLEGUNGEN?



WIRD QUANTENCOMPUTING KÜNFTIG EINE GRÖßERE ROLLE AUF DER AGENDA VON FÜHRUNGSKRÄFTEN IN IHRER INDUSTRIE SPIELEN?



Quelle: Roland Berger

erwartete Nutzen durch Quantencomputing (noch) zu weit in der Zukunft liegt.

Das soll sich nun ändern. Fast zwei Drittel der Befragten (63 Prozent) sind der Meinung, dass Quantencomputing künftig deutlich höher auf der eigenen Unternehmensagenda rangieren sollte.

3.2 DIE VIER HAUPTANWENDUNGEN

Quantencomputer können vielseitig eingesetzt werden. Wir haben vier Einsatzgebiete identifiziert, in denen sie einen echten Unterschied machen. Diese sind: Optimierungsprobleme, Simulationen, maschinelles Lernen und Kryptografie. Dass in Zukunft weitere Use Cases hinzukommen, ist nicht auszuschließen, sondern sehr

wahrscheinlich. Wenn Quantencomputer erst einmal von einem größeren Anwenderkreis getestet werden, dann ergeben sich womöglich völlig neue Anwendungen – Anwendungen, die unser heutiges Vorstellungsvermögen übersteigen.

Im Folgenden werden wir kurz die vier aktuell wichtigsten Use Cases von Quantencomputern vorstellen. Das soll in der Reihenfolge geschehen, in der sie aus unserer Sicht auch in der Praxis relevant werden. Angefangen mit einer neuen Kategorie von Optimierungsproblemen, die bereits jetzt auf den ersten Prototypen bearbeitet werden und deshalb auch den ersten erfolgreichen Anwendungsfall von Quantencomputing darstellen dürften. Bei Simulationen und maschinellem Lernen könnte es hingegen etwas länger dauern, weil

dafür leistungsstärkere Computer und eine neue Klasse von Algorithmen nötig sind. Den Schluss markiert die Kryptografie, da hier – wie anfangs beschrieben – Quantencomputer mit einer Million Qubits und mehr benötigt werden. → **E**

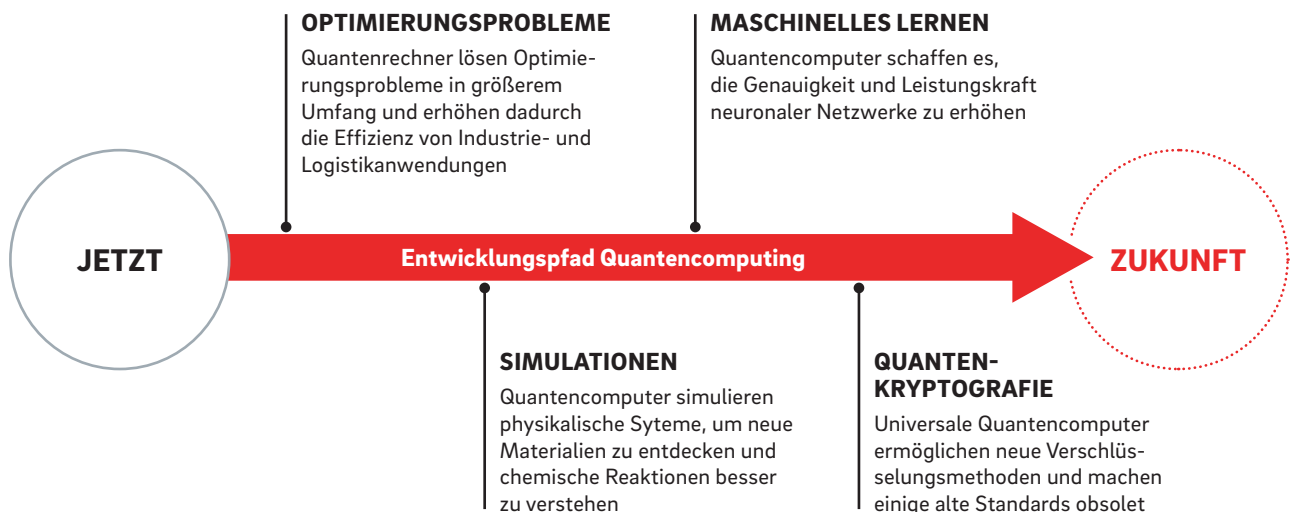
Optimierungsprobleme

Viele Optimierungsprobleme klingen einfacher, als sie tatsächlich sind. Ein Beispiel: Ein Paketbote soll an einem Tag zehn Pakete an zehn verschiedenen Orten abgeben. In welcher Reihenfolge sollte die Zustellung im Idealfall organisiert werden? Die Antwort ist alles andere als trivial: Es gibt 3,6 Millionen Möglichkeiten, die Zustellung zu organisieren. Kommt nur ein weiterer Zielort hinzu, erhöht sich der Rechenaufwand um den Faktor 11.

Klassische Rechner sind bei Optimierungsfragen mit vielen Variablen schnell überfordert. In der Praxis behilft man sich deshalb mit Vereinfachungen, die am Ende oft zu einem suboptimalen Ergebnis führen. Im Fall von Quantencomputern wäre das anders. Sie können mithilfe der Superposition alle infrage kommenden Lösungen gleichzeitig untersuchen und so eine völlig neue Kategorie von Optimierungsproblemen bearbeiten – selbst wenn im ersten Schritt nur die vorher beschriebenen adiabatischen Quantencomputer zum Einsatz kommen, die nicht garantiert das Optimum finden können, jedoch zumindest eine Lösung liefern. Und zwar für ein Problem, für das es auf einem klassischen Computer keine Lösung gibt. In der Praxis kann daraus ein entscheidender Wettbewerbsvorteil erwachsen.

E: Erst Optimierungsprobleme, schließlich Kryptografie

Erwarteter Durchbruch bei den vier wichtigsten Anwendungsfällen



Quelle: Roland Berger

Denkbar sind auch Hybridlösungen. Das heißt, ein Quantencomputer grenzt zunächst das Feld der potenziellen Antworten ein, anschließend errechnet ein klassischer Computer die exakte Lösung. Der Ansatz ist vielversprechend, weil er die Stärken beider Prozessoren nutzt.

Simulation

Die Modellierung von komplexen Molekülstrukturen gilt als das natürliche Einsatzgebiet von Quantencomputern. "Die Natur ist nicht klassisch, verdammt nochmal, und wenn man eine Simulation von ihr macht, dann macht man diese besser quantenmechanisch", wusste schon der berühmte amerikanische Physiker Richard Feynman. An seiner Einschätzung hat sich bis heute nichts geändert.

Die heutigen Supercomputer stoßen bei der Darstellung von Molekülen schnell an ihre Grenzen. Zu viele Daten müssen dafür verarbeitet, zu viele Faktoren gleichzeitig berücksichtigt werden. Und am Ende gilt: Klassische Rechner sind einfach sehr schlecht in der Imitation quantenmechanischer Prozesse.

Das ist der Grund, warum Wissenschaftler bis heute neue Molekülstrukturen in Laboren mithilfe der synthetischen Chemie nachbauen, um sie überhaupt erforschen zu können. Ein zeitraubender und kostspieliger Prozess, der sich mit Quantencomputern um ein Vielfaches beschleunigen ließe. Das würde auch die Suche nach neuen Wirkstoffkandidaten und Materialien erleichtern. Die einzige Voraussetzung dafür ist, dass ein ausreichend leistungsstarker Rechner zur Verfügung steht. Um Penicillin zu modellieren, benötigt man zum Beispiel einen Computer mit 286 logischen Qubits.⁹

Maschinelles Lernen

Die jüngsten Fortschritte im Bereich künstlicher Intelligenz und Machine Learning lassen sich zu einem großen Teil auf einen Umstand zurückführen: mehr verfügbare Rechenpower. Je leistungsfähiger die Hardware wurde, desto komplexere Verfahren und Modelle konnten angewandt werden. Eine erfreuliche Entwicklung, die sich mit klassischen Computern allerdings nicht ewig aufrechterhalten lässt.

Das berühmte Gesetz von Moore stößt derzeit an seine physikalischen Grenzen. Es besagt, dass sich die Anzahl der Schaltkreiskomponenten auf einem integrierten Schaltkreis alle zwei Jahre verdoppelt. Wegen der aktuell bereits enormen Verdichtung von Transistoren auf einem Computerchip wird das aber immer schwieriger. Das könnte das Ende für das exponentielle Wachstum bei der Hardware bedeuten, wie wir es bisher kannten. Verliert dadurch auch die digitale Revolution an Schwung?

Die kurze Antwort lautet: nicht unbedingt. Quantencomputer können die für die klassische Chipindustrie geltenden Beschränkungen überwinden. Sie erlauben den Einsatz völlig neuer Algorithmen, mit denen sich neuronale Netze deutlich besser trainieren lassen. Die Voraussetzung dafür ist, dass klassische Daten in ein Quantensystem übertragen werden. Das kostet Zeit, weshalb sich ein solches Um- und Zurückrechnen nicht in allen Fällen lohnt.

Kryptografie

Es gibt eine Person, die in der Quantenwelt eine ganz besondere Berühmtheit erlangt hat: der Mathematiker Peter Shor. Bereits 1994 wies er nach, dass sich die Primfaktorzerlegung (die Darstellung einer Zahl als Produkt mehrerer Primzahlen) mithilfe von Quantencomputern relativ einfach durchführen lässt. Klassische Computer brauchen dafür bei hinreichend großen Primzahlen Jahrzehnte. Im Fall von Quanten-

⁹ Thornhill, John / Waters, Richards: Quantum computing: the power to think outside the box (FT, 3. September 2018)

computern könnte die Aufgabe zu einer Angelegenheit von Stunden werden.

Shors Entdeckung hat demnach Implikationen für Verschlüsselungsverfahren, die auf der Primfaktorzerlegung basieren. Eines dieser Verfahren ist RSA, welches unter anderem für die sichere Datenübertragung im Internet eingesetzt wird und mit einem Quantencomputer relativ einfach überlistet werden könnte. Allerdings gibt es auch andere Verfahren (wie AES, SHA-2 und SHA-3), die auch mit einem "Shor-fähigen" Quantencomputer noch sicher wären. Sie beruhen nicht auf der Lösung eines Problems, das mit Quantencomputern zu einem Kinderspiel wird. Dass diese Verschlüsselungsverfahren genauso im Internet, im E-Mail-Verkehr und bei der Datenverschlüsselung eingesetzt werden, wird in der öffentlichen Debatte oft vergessen. Für Unternehmen ist es deshalb umso wichtiger, auf Algorithmen zu setzen, die auch nach Einzug des Quantencomputing eine sichere Kommunikation ermöglichen.

Gleichzeitig laufen aber bereits Initiativen zur Erarbeitung neuer Verschlüsselungskonzepte für das Quantenzeitalter: Das gilt sowohl für die EU¹⁰ als auch für die USA, wo das National Institute of Standards and Technology eigens einen Wettbewerb für die Suche nach einem neuen Verschlüsselungsstandard ins Leben gerufen hat. Er läuft noch bis 2022, aber der US-Auslandsgeheimdienst NSA hat die vorläufigen Ergebnisse bereits als vielversprechend eingestuft.¹¹ Als aussichtsreichste Aspiranten für das Post-Quanten-Zeitalter gelten sogenannte gitterbasierte Konstruktionen.

Am Ende könnte die Lösung aber auch bei den Quantencomputern selbst liegen. Mit ihnen lassen sich nicht nur einige klassische Verschlüsselungen knacken, sondern neue und deutlich sichere Verfahren entwerfen. Das Fachwort lautet: Quantum Key Distribution. Dabei werden verschlüsselte Daten wie bisher üblich in Form klassischer Bits versendet, die zur Entschlüsselung notwendigen Keys allerdings als nicht knackbare Qubits.

Schon der kleinste Abhörangriff von außen würde den Zustand der Qubits verändern und darum einen Alarm bei Sender und Empfänger auslösen – ein Verfahren, das die Kryptografie revolutionieren könnte. Unter einer Voraussetzung: Sender und Empfänger müssen jeweils einen Quantencomputer besitzen.

3.3 DIE QUANTENPROFITEURE

Obwohl die ersten Use Cases bisher nur in Umrissen sichtbar sind, lässt sich bereits eines sagen: Unterschiedliche Industrien werden von den neuen Rechenmöglichkeiten unterschiedlich stark profitieren. Das heißt, es wird Branchen geben, in denen Quantencomputing auch künftig eine untergeordnete Rolle spielt. Und solche, in denen sich Unternehmen in jedem Fall auf die neue Technik einlassen müssen – zumindest wenn sie den Anschluss an Wettbewerber nicht verlieren wollen.

Ob eine Industrie eher in die erste oder zweite Gruppe fällt, hängt hauptsächlich von der Datenintensität des Geschäftsmodells ab. Sie lässt sich anhand der drei Vs bestimmen: der Datenmenge (volume), der Datenvielfalt (variety) und der Geschwindigkeit (velocity), mit der die anfallenden Daten verarbeitet werden müssen. Unsere Grundannahme lautet: Je höher die Datenintensität, desto größer auch die bevorstehende Disruption durch Quantencomputer. → **E**

Um die Aussagekraft dieses Modells zu messen, haben wir sie mit qualitativen Einschätzungen von Branchenexperten verglichen. Das Ergebnis: Bei der Benennung der Quantenprofiteure herrscht erstaunliche Einigkeit. In so gut wie allen Prognosen liegt das verarbeitende Gewerbe vorne. Im Handel sind hingegen nur geringe Veränderungen zu erwarten.

¹⁰ European Commission, Call for tenders: detailed system study for a quantum communication infrastructure (29. September 2020)

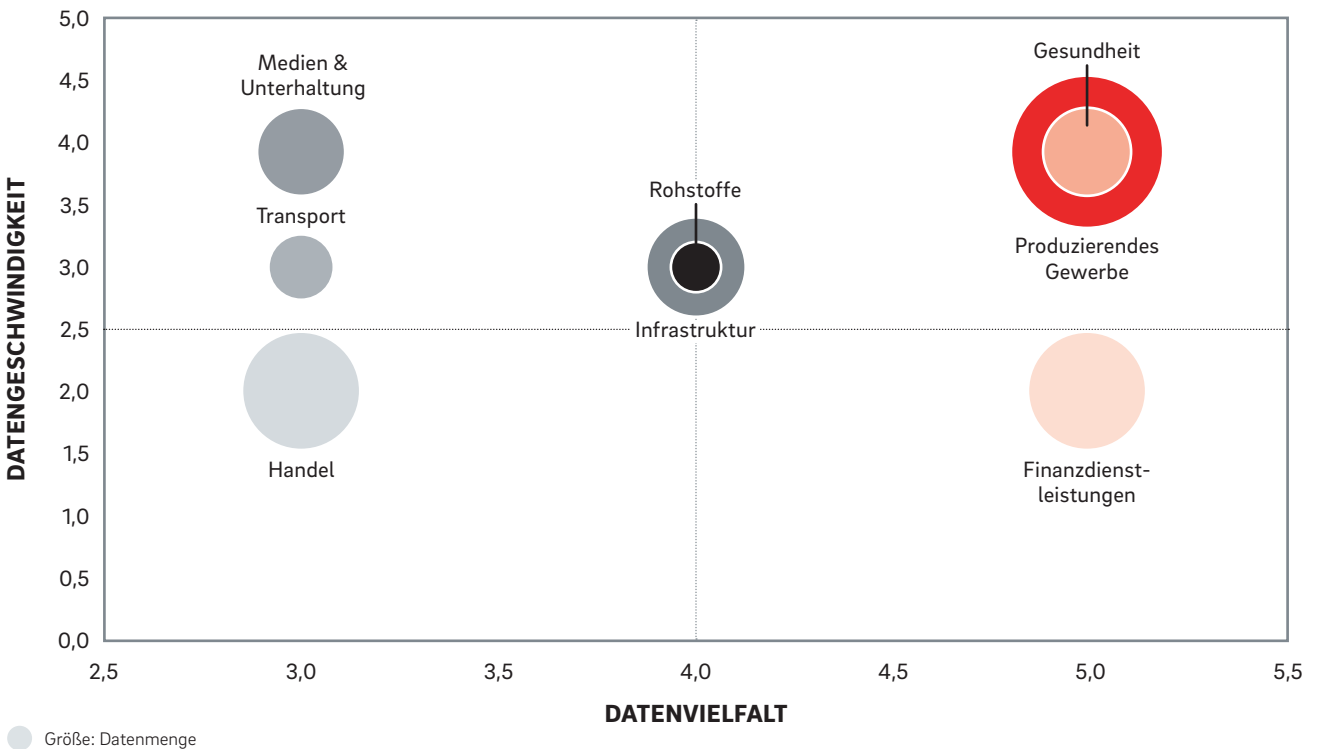
¹¹ NSA, Post-Quantum Cybersecurity Resources (<https://www.nsa.gov/what-we-do/cybersecurity/post-quantum-cybersecurity-resources/>)

Besonders hervorgehoben werden müssen die Auto-, Pharma- und Chemieindustrie. Sie sind die Zugpferde des verarbeitenden Gewerbes und sie werden sich durch die Verfügbarkeit von Quantencomputern am tiefgreifendsten verändern. Der Grund: In diesen Branchen lassen sich beinahe alle (bisher bekannten) Fähigkeiten von Quantencomputern anwenden – von Simulationen über Machine Learning bis hin zu neuen Optimierungslösungen.

Die Autoindustrie ist dafür das beste Beispiel. Noch zählt der Bau von effizienteren Akkus für Elektroautos zu den größten ungelösten Problemen der Branche. Mit Quantencomputern könnte sich das ändern. Auf ihnen lassen sich die chemischen Reaktionen aus dem Inneren einer Batterie hervorragend simulieren, was zu völlig neuen Einsichten in der Batterieforschung führen könnte. Aber das ist nicht die einzige Hoffnung der Automobilkonzerne.

F: Zwischen Disruption und Kontinuität

Nicht jede Branche wandelt sich gleich stark



Quelle: Gartner, IDC, Roland Berger

Quantencomputer werden die Arbeit mit Chemikalien und Wirkstoffen revolutionieren. Das reicht bis hin zur Entdeckung neuer Medikamente oder Materialien.

Durch die Umstellung von Bits auf Qubits dürfte sich auch die im Bereich autonomes Fahren eingesetzte Software effektiver trainieren lassen. Gleiches gilt für die Verwendung von Quantum Machine Learning im medizinischen Bereich. Die meisten Experten erwarten, dass die automatische Erkennung von Krankheiten wie Hautkrebs dadurch einen deutlichen Sprung nach vorne macht. Und das ist längst nicht alles.

Einigkeit besteht ebenfalls darüber, dass Quantencomputing die Arbeit mit Chemikalien und Wirkstoffen revolutionieren wird. Das reicht bis hin zur Entdeckung neuer Medikamente oder Materialien. Tests, die in diesen Bereichen bisher Jahre in Anspruch genommen haben, könnten plötzlich in einem Bruchteil der Zeit erledigt werden. Nämlich dann, wenn die Quantensimulation von Molekülstrukturen zu einer Routineaufgabe geworden ist.

Genauso erwähnenswert sind die neuen Möglichkeiten für die Finanzindustrie. Sie ächzt aktuell unter einer ganzen Reihe komplexer Optimierungsprobleme, die selbst den größten Superrechnern zu schaffen machen. Angefangen bei der Portfolio-Zusammenstellung über den Arbitragehandel bis hin zu Marktsimulationen und Scoring-Modellen im Kreditgeschäft. Ein Beispiel: Allein für die Auswahl von 30 Aktien aus einer Grundgesamtheit von 60 gibt es 100 Billionen verschiedene Kombinationsmöglichkeiten. Und damit ist die Komplexität des Marktgeschehens nicht einmal annähernd erfasst.

Wandeln werden sich ebenso die Logistik und der Transportsektor. Vorstellbar ist zum Beispiel, dass Verkehr, Transportwege und ganze Lieferketten mithilfe von Quantencomputer-Prognosen um ein Vielfaches effizienter gesteuert werden. Für den Bereich gilt, was Roger McKinlay, Challenge Director bei UK Research and Innovation, jüngst in Bezug auf alle Praxisanwendungen prognostiziert hat: "Wenn wir es jetzt schaffen, einen 100-Qubit-Rechner zu bauen, inklusive passender Software, dann werden interessante Dinge passieren."

¹² Thornhill, John, Quantum computing: randomness as a service (FT, 21. September 2020)

4 / Ausblick auf die nächsten Jahre

NIE WAR DAS UMFELD FÜR QUANTENCOMPUTING GÜNSTIGER

O b und wann ein technologischer Durchbruch im Bereich Quantencomputing gelingt, kann niemand seriös vorhersagen. Selbst wenn sich die Zahl der Qubits von aktuell 53 jedes Jahr verdoppelt, bräuchte man gute 20 Jahre, um die wichtige Marke von einer Million zu knacken. Das Problem der Kontrollierbarkeit der widerspenstigen Qubits wäre dadurch freilich noch nicht gelöst. In puncto Fehlerkorrektur muss das Eis erst gebrochen werden.

Trotzdem hat sich in den letzten Monaten ein einzigartiges Marktumfeld für Quantentechnologie entwickelt. Die Bedingungen sind so gut wie noch nie. Das liegt vor allem an vier Entwicklungen.

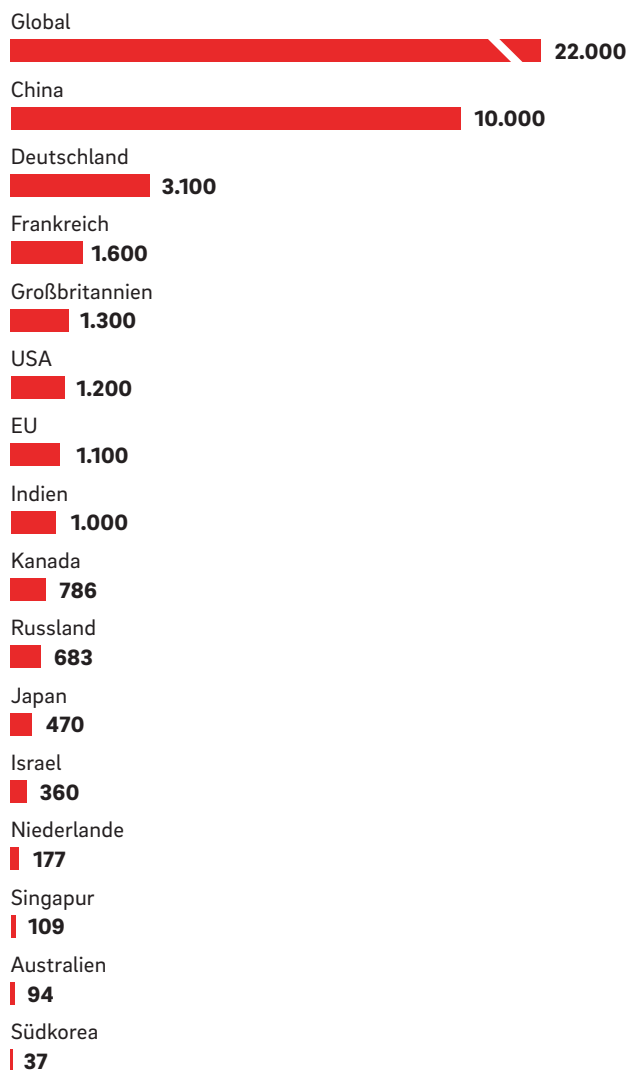
ERSTENS: DIE ÖFFENTLICHEN AUSGABEN FÜR QUANTENFORSCHUNG ERREICHEN EIN REKORDNIVEAU

Während anderswo Forschungsetats gestrichen werden, halten die meisten Länder an ihren Investitionen in die Quantentechnik fest. Die deutsche Bundesregierung ist dafür das beste Beispiel. In ihrem aktuellen Konjunkturpaket hat sie der Quantenforschung noch einmal zwei Milliarden Euro zusätzlich bewilligt.¹³ Die US-Regierung und andere Länder schreiten ähnlich energisch voran. Weltweit belaufen sich die öffentlichen Ausgaben für Quantentechnologien inzwischen auf mehr als 22 Milliarden Dollar, eine rekordverdächtige Summe. → [G](#)

In den nächsten Jahren dürfte sie nach unserer Einschätzung weiter steigen. Der Grund? Die Quantentechnologie – egal ob Quantensystem oder Quantencomputer – wird inzwischen als kritische Infrastruktur eingestuft. Auch aus Richtung des Militärs, eines Bereichs, der traditionell hohe Investitionen in Zukunftstechnologien ermöglicht hat, liegen berechnete

G: Üppige Staatsausgaben

Höchste Ausgaben für Quantenforschungsprogramme nach Ländern [Mio. USD]



Quelle: Qureca Ltd., Roland Berger

¹³ Kerkmann, Christof; Koch, Moritz; Hoppe, Till: Die Quantenoffensive: Wie Deutschland den Vorsprung der USA aufholen will (Handelsblatt, 24. August 2020)

Interessen vor. Denkbar wäre zum Beispiel ein U-Boot mit einem quantenbasierten Navigationssystem, unabhängig vom jetzigen GPS-Standard.

ZWEITENS: RISIKOKAPITALGEBER SETZEN AUF DIE QUANTENTECHNIK

Zu den üppig fließenden Staatsausgaben passt auch, dass die privaten Risikokapitalgeber ihre Zurückhaltung aufgegeben haben. Bis vor Kurzem wurde die Quantenforschung fast ausschließlich von Regierungen und großen Tech-Konzernen wie Google und IBM getragen. Viele Venture Fonds hielten sich vornehm zurück. Zu unzuverlässig erschien ihnen die Technik, zu unsicher die Erträge.

Inzwischen hat ein Umdenken stattgefunden. Die Anzahl der Venture-Capital-Deals hat einen historischen Höchststand erreicht. Laut des Analysedienstes CB Insights lag sie im vergangenen Jahr bei 37 abgeschlossen Deals. Ein beachtlicher Umfang, wenn man bedenkt, dass das gesamtwirtschaftliche Investitionsklima durch die COVID-19-Pandemie stark eingetrübt wurde. Andere Schätzungen gehen sogar von einer noch höheren Deal-Anzahl aus und sprechen ebenfalls von einem neuen Rekord beim Gesamtvolumen der Investitionen im Quantenbereich.¹⁴ Die Botschaft hinter dieser neuen Goldgräberstimmung ist unmissverständlich: Auch private Geldgeber rechnen inzwischen damit, dass sich mit den ersten Quantenanwendungen bald gutes Geld verdienen lässt. → **H**

DRITTENS: QUANTENSYSTEME UND NEUE SPILLOVER-EFFEKTE

Die für den Bau von Quantensystemen (Quantenuhren, Quantenaccelerometer, Quantengravimeter) verwendete Technik (z.B. Lasersysteme und Detektoren) ähnelt

jener, die auch für den Bau von Quantencomputern gebraucht wird. Das heißt, Ausgaben für Forschung können durch Quantensysteme schon weit vor der Realisierung von Quantencomputern zu wirtschaftlichen Erfolgen führen. Wenn es darum geht, besonders hohe Stabilitäts- und Schutzanforderungen zu erfüllen, können Forscher dies zum Beispiel schon jetzt bei Quantensystemen in einem realen Umfeld erproben. Ein Umstand, der die Entwicklung hin zu einem universalen Quantenrechner ebenso beschleunigen könnte.

VIERTENS: EIN QUANTENÖKOSYSTEM ENTSTEHT

Langsam, aber sicher zeichnen sich die Umrise eines funktionierenden Ökosystems ab. Die Zahl der Software-Anbieter wächst kontinuierlich und ballt sich nicht mehr nur (wie im Fall der Hardware-Hersteller) in Nordamerika. Laut Quantum Computing Report arbeiten derzeit mehr als 80 Software-Firmen an der Übersetzung von alltäglichen Problemen in die Welt der Qubits.¹⁵ Auch sie geraten immer stärker in den Fokus von Risikokapitalfirmen.

Für die Kommerzialisierung der Quantentechnologie sind die Software-Anbieter genauso wichtig wie die Computerhersteller. Ohne einheitliches Betriebssystem kann es zum Beispiel keine einheitlichen Anwendungen auf den unterschiedlichen Hardware-Typen geben. Ohne genügend praxistaugliche Algorithmen kann die Rechenpower eines Quantencomputers nicht für Unternehmen nutzbar gemacht werden.

Helfen kann darum auch die Bereitstellung von Quantencomputern über die Cloud. IBM hat das bereits vor Jahren für einen seiner Prototypen getan. Andere Tech-Konzerne, darunter Amazon und Microsoft, ziehen gerade nach und bieten Zugang zu mehreren verschiedenen Hardware-Varianten an. Eine Entwicklung, von der das gesamte Ökosystem profitiert. Die Nutzer, weil sie mit der neuesten Hardware experimentieren

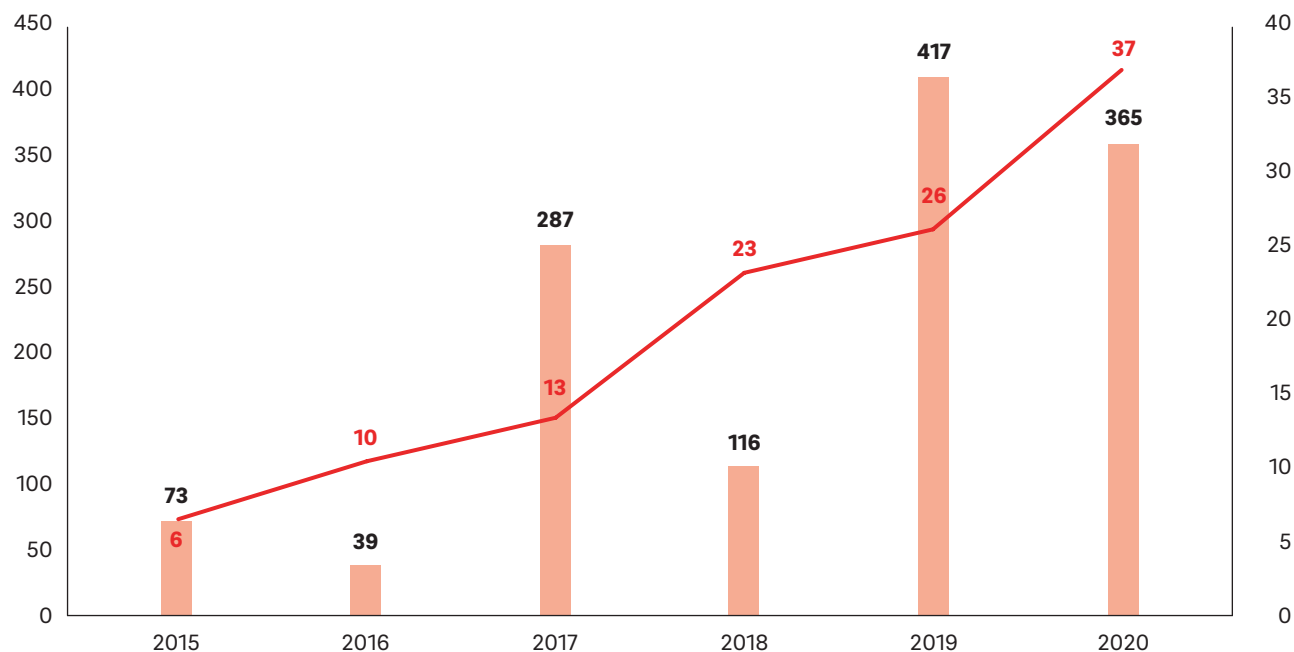
¹⁴ The Economist, Commercialising quantum computer (26. September 2020)

¹⁵ Quantum Computing Report: Players (<https://quantumcomputingreport.com/players/>)

H: Euphorie unter Risikokapitalgebern

Die Anzahl der Venture-Capital-Deals steigt und steigt

Investitionsvolumen
[Mio. USD]



Quelle: CB Insights

und so leichter eigene Anwendungen entwerfen können. Die Hersteller, weil sie durch das Feedback der Nutzer ihre Computermodelle verfeinern können.

Klar ist: Die technischen Hürden bleiben fürs Erste bestehen. Aber alle vier Faktoren – hohe Staatsinvestitionen, aktive Risikokapitalgeber, Spillover-Effekte aus anderen Quantenbereichen und ein entstehendes

Ökosystem – können die Entwicklung von Quantentechnologie beschleunigen. Das heißt, es besteht zumindest theoretisch die Chance, dass sich die Leistungsstärke der Quantenrechner tatsächlich Jahr um Jahr exponentiell erhöht – so, wie es viele Hersteller prognostizieren und viele Anwender-Unternehmen es sich wünschen.

5 / Unsere Empfehlungen

UNTERNEHMEN MÜSSEN SICH JETZT AUF DAS QUANTENZEITALTER VORBEREITEN



1

DEN TECHNISCHEN FORTSCHRITT GENAU BEOBACHTEN UND SCHNELL HANDELN

Quantensysteme und Quantencomputer werden immer schneller immer leistungsfähiger. Unternehmen sollten die Fortschritte und Meilensteine deshalb sehr genau beobachten. Konkret bedeutet dies:

- a** **Gründung eines Technologie-Scouting-Teams** mit einer engen Schnittstelle zur Abteilung für Unternehmensentwicklung, das Fortschritte im Quantenbereich kontinuierlich verfolgt und Empfehlungen für das Management aufbereitet.
- b** **Überarbeitung der Produkt- und Innovation-Roadmap**, um einer Quantenobsoleszenz vorzubeugen und/oder neue Chancen umgehend zu nutzen.
- c** **Verwendung neuer Simulationsfähigkeiten in der Produktentwicklung:** Aufholbedarf in der Simulation und im virtuellen Testing schnellstmöglich aufdecken und die Lücken schließen, bevor der nächste Innovationsprung ansteht.



2

STRATEGISCH WICHTIGE PARTNER AN BORD HOLEN

Quantencomputer sind teuer und noch dazu schwierig zu bedienen. Unternehmen müssen deshalb jetzt auf die Suche nach Partnern gehen, mit denen sie ihre Quantenfitness steigern. Dazu gehört ein aktives, strategisches Partner-Scouting, durchgeführt von einem Expertenteam. Unternehmen, die selbst in der Hightech-Branche tätig sind, benötigen außerdem ein strategisches Wissenschaftsmanagement, um aktiv F&E-Partnerschaften zu entwickeln und sich Fördergelder im Quantenbereich zu sichern. Für diese spezialisierten Unternehmen werden sich Investitionen angesichts des sich abzeichnenden Quantenbooms doppelt lohnen: einerseits wegen des Zugewinns an Fähigkeiten, andererseits wegen einer hohen Kapitalrendite (ROI).



3

DIE IT-INFRASTRUKTUR FÜR DAS QUANTENZEITALTER AUFRÜSTEN

Unternehmen müssen jetzt ihre IT-Infrastruktur (inklusive CRM, ERP, Mail und Kommunikation) auditieren und schwache Verschlüsselungsalgorithmen ersetzen. Auch das Produktportfolio sollte überprüft und die Datenübertragung zwischen Produkten und dem Unternehmen entsprechend gesichert werden.



4

DIE FANTASIE SCHWEIFEN LASSEN

Ein Quantencomputer bietet einzigartige Möglichkeiten. Wer ihn nur als Effizienz- und Optimierungsmaschine für ein bestehendes Geschäftsmodell begreift, verkennt sein Potenzial. Unternehmen müssen sich daher unbefangen vom Tagesgeschäft lösen und fragen: Welche offenen Probleme gibt es aktuell? Und wie könnten Quantencomputer dabei helfen, sie zu lösen? Hier empfiehlt sich ein unabhängiger Audit, um neue Ideen von außen in die eigenen Überlegungen miteinzubeziehen.

Fazit

Jetzt loslegen und später nichts bereuen

Sind ausreichend leistungsstarke Quantencomputer bereits im nächsten Jahr verfügbar und stellen alles auf den Kopf? Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht. Dauert es noch 20 Jahre, bis die neue Technologie wenigstens in einem Frühstadium im Unternehmensalltag ankommt? Genauso unwahrscheinlich. Eher wird eine schleichende Veränderung stattfinden.

Wie oben erläutert, werden Quantencomputer einige Bereiche früher als andere treffen. Wann genau die Technologie bereit zur Disruption ist, kann niemand seriös prognostizieren. In Zeiten von Unsicherheit hat sich aber ein Ansatz bewährt: in Szenarien denken.

Was ist wann möglich? Wie können sich Veränderungen auf Unternehmensprozesse auswirken? Unserer Meinung nach können Unternehmen nicht früh genug damit anfangen, sich mit Quantencomputern zu beschäftigen. Jeder, der in seinem Unternehmen schon einmal ein umfassendes Transformationsprogramm angestoßen hat, weiß: Veränderungen brauchen Zeit. Also besser, man fängt rechtzeitig damit an.

IMPRESSUM

AUTOREN

MARTIN STREICHFUSS

Senior Partner

+49 211 43 89-2193

martin.streichfuss@rolandberger.com

MICHAEL ALEXANDER

Partner

+49 89 9230-8244

michael.alexander@rolandberger.com

FREDERIK HAMMERMEISTER

Partner

+49 69 29924-6407

frederik.hammermeister@rolandberger.com

ALEXANDER HEUER

Senior Consultant

+49 40 37631-4352

alexander.heuer@rolandberger.com

Wir freuen uns über Ihre Fragen,
Kommentare und Anregungen.

WWW.ROLANDBERGER.COM

05.2021

Die Angaben im Text sind unverbindlich und dienen lediglich zu Informationszwecken. Ohne spezifische professionelle Beratungsleistung sollten keine Handlungen aufgrund der bereitgestellten Informationen erfolgen. Haftungsansprüche gegen Roland Berger GmbH, die durch die Nutzung der in der Publikation enthaltenen Informationen entstanden sind, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

© 2021 ROLAND BERGER GMBH. ALLE RECHTE VORBEHALTEN.

ROLAND BERGER ist die einzige Strategieberatung europäischer Herkunft mit einer starken internationalen Präsenz. Als unabhängige Firma, im alleinigen Besitz unserer Partnerinnen und Partner, sind wir mit 50 Büros in allen wichtigen Märkten präsent. Unsere 2400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zeichnet eine einzigartige Kombination aus analytischem Denken und empathischer Einstellung aus. Angetrieben von unseren Werten Unternehmergeist, Exzellenz und Empathie sind wir überzeugt davon, dass Wirtschaft und Gesellschaft ein neues, nachhaltiges Paradigma benötigen, das den gesamten Wertschöpfungskreislauf im Blick hat. Nur so können wir die tiefgreifenden Herausforderungen unserer Zeit heute und morgen erfolgreich meistern.

HERAUSGEBER:
ROLAND BERGER GMBH
Sederanger 1
80538 München
Deutschland
+49 89 9230-0