

MEINUNGSBAROMETER.INFO

DAS FACHDEBATTENPORTAL

DOKUMENTATION

FACHDEBATTE

NEUE MATERIALIEN DANK QUANTENCOMPUTING?

Wie die Kunststoffe der Zukunft aussehen könnten

Die Dokumentation beinhaltet alle Positionen, ausführliche Analysen und Prognosen zu dieser Fachdebatte sowie eine übersichtliche Management Summary.

Debattenlaufzeit: 25.11.2022 - 27.08.2023

INHALTSVERZEICHNIS

DEBATTENBESCHREIBUNG	4
AKTIVE DEBATTENTEILNEHMER	5
MANAGEMENT SUMMARY	7
DEBATTENBEITRÄGE	10
QUANTENCOMPUTING BRAUCHT GEDULD, FANTASIE UND EXPERTISE Wie die neue Technologie anwendungsbereit gemacht werden kann	10
PROF. DR. RÜDIGER QUAY Executive Director Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF	
QUANTENCOMPUTING IST EIN MARATHON, KEIN SPRINT Regulatorische Weichen stellen, strategisch Langzeitentwicklung fördern	13
DR. CORNELIUS HEMPEL Leiter der Ionenfallen-Quantumcomputing-Gruppe, Paul-Scherrer-Institut ETH Zürich	
ÖKOSYSTEM QUANTENCOMPUTING ENTWICKELN Wie Wirtschaft, Industrie und Forschung gemeinsam die neue Chance nutzen können	17
DR. ROBERT AXMANN Leiter DLR Quantumcomputing-Initiative (QCI) DLR	
ABSEHBAR KEIN MEHRWERT DURCH QUANTENCOMPUTING IN DER BREITE Warum der Nutzen derzeit nahezu null ist	21
DR. MAREK P. CHECINSKI Geschäftsführer CreativeQuantum GmbH Berlin	
FEHLERKORRIGIERTER QUANTENCOMPUTER ALS ZIEL FÜR DAS NÄCHSTE JAHRZEHNT Welche Anstrengungen nötig sind, um das Quantumcomputing nutzbar zu machen	25
DR. MARKUS HOFFMANN Leiter Quantum Computing Partnerships and Programs globally at Google Quantum AI Google Deutschland	

QUANTENCOMPUTING ALS GROSSE TECHNOLOGIECHANCE FÜR DAS 21. JAHRHUNDERT	29
Wie man verantwortungsvoll mit der neuen Technik umgeht	
DR. MICHAEL FÖRTSCH CEO Quant GmbH	
FORSCHUNG ZU QUANTENCOMPUTERN STECKT NOCH IN DEN KINDERSCHUHEN	33
Welche Erkenntnisse es auf fundamentaler Ebene gibt	
DR. JOHANNES ZEIHNER Gruppenleiter Max-Planck-Institut für Quantenoptik Garching	
WIE VERBESSERTE HARDWARE DAS QUANTENCOMPUTUNG PUSHEN KANN	37
Welche Fortschritte es gibt - und was noch fehlt	
PROF. JOHANNES FINK Professor Institute of Science and Technology Austria (ISTA)	
IMPRESSUM	41

DEBATTENBESCHREIBUNG



INITIATOR

UWE REMPE

Freier Journalist

Meinungsbarometer.info

NEUE MATERIALIEN DANK QUANTENCOMPUTING?

Wie die Kunststoffe der Zukunft aussehen könnten

Plastik aus Holz statt Erdöl herstellen ist trotz gegenteiliger Behauptungen nicht sehr nachhaltig, solange das Folgeproblem Müll nicht zufriedenstellend gelöst ist. Nachhaltig wäre es beispielsweise, Materialien mit Kunststoff-Eigenschaften zu erfinden, die sich aber nach einem eingestellten Zeitraum weitgehend in unschädliche Grundbestandteile auflösen. Das ist keine Science Fiction!

Viele Forschungsgruppen in Deutschland und der Welt setzen bei der Suche nach neuen Materialien, neuen Werkstoffen auf das Quantencomputing. Statt im Labor mühsam und zeitraubend ein Molekül nach dem anderen auszuprobieren, überlässt man das Problem einfach den Rechnern.

Professor Dr. Heinz Voggenreiter beispielsweise, Direktor des Instituts für Werkstoff-Forschung sowie des Instituts für Bauweisen- und Strukturtechnologie, beide am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), sagt Folgendes: "Das Zusammenwirken der Recheneinheiten Qubits im Quantencomputing ist sehr ähnlich dem Zusammenwirken von Atomen und Molekülen in einem Material. Quantencomputer und Material agieren vergleichbar. Deshalb ist es naheliegend, ein Materialproblem durch die Übersetzung in den Algorithmus einer Software von einem Quantencomputer lösen zu lassen."

AKTIVE DEBATTENTEILNEHMER



DR. ROBERT AXMANN

Leiter DLR Quantencomputing-Initiative (QCI)
DLR



DR. MAREK P. CHECINSKI

Geschäftsführer
CreativeQuantum GmbH Berlin



PROF. JOHANNES FINK

Professor
Institute of Science and Technology Austria (ISTA)



DR. MICHAEL FÖRTSCH

CEO
Quant GmbH



DR. CORNELIUS HEMPEL

Leiter der Ionenfallen-Quantumcomputing-Gruppe, Paul-Scherrer-Institut
ETH Zürich



DR. MARKUS HOFFMANN

Leiter Quantum Computing Partnerships and Programs globally at Google Quantum AI

Google Deutschland



PROF. DR. RÜDIGER QUAY

Executive Director

Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF



DR. JOHANNES ZEIHNER

Gruppenleiter

Max-Planck-Institut für Quantenoptik Garching

MANAGEMENT SUMMARY

27.08.2023 | SUMMARY

NOCH STECKT DAS QUANTENCOMPUTING IN DEN KINDERSCHUHEN

Doch die Potenziale der neuen Technologie sind erheblich



Uwe Rempe - Freier Redakteur [Quelle: Meinungsbarometer.info]

Die Wissenschaft ist sich einig: Quantencomputing hat eine große Zukunft vor sich, allerdings ist der Weg bis zu praktischen Anwendungen sehr weit. Prof. Dr. Rüdiger Quay beispielsweise, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF, sagt etwa „Vom Berechnen komplexer Moleküle in der Materialforschung sind wir noch sehr weit entfernt.“ Quantencomputing könne zwar schon heute gewisse numerische Probleme lösen, besonders in Kombination mit klassischer Technik. „Im Vergleich mit normalen Rechnern ist ein Quantenvorteil jedoch noch nicht konkret sichtbar. Dennoch verspricht die Technologie langfristig einige Vorteile in der Skalierung spezieller Rechnungen, insbesondere in der Materialforschung oder in der klassischen Optimierung.“

„Es ist wichtig klarzustellen, dass Quantenprozessoren noch keine praktisch relevan-

te Aufgabe besser oder schneller lösen als herkömmliche Rechner", sagt auch Professor Johannes Fink vom Institute of Science and Technology Austria (ISTA) in Klosterneuburg. Der Abstand in puncto Rechenschritten - oder noch wichtiger in absoluter Zeit - sei nicht klein, sondern noch sehr viele Größenordnungen zu überwinden. „Das eigentliche Potential des Quantencomputing, für z.B. die Materialphysik und andere potenzielle Anwendungen, wird sich voraussichtlich erst mit deutlich besserer Hardware einstellen, als sie jetzt verfügbar ist. Mit so einem fehlerkorrigierten Quantencomputer werden wir dann nicht unbedingt bekannte Probleme schneller lösen, sondern Problemstellungen angehen, die man mit einem klassischen Rechner prinzipiell gar nicht lösen kann.“

Pessimistischer nach fast 15 Jahren Erfahrung industrienaher Forschung ist Dr. Marek P. Checinski, Geschäftsführer des Berliner Unternehmens CreativeQuantum. Nur sehr wenige Fragestellungen in der Material- bzw. Chemieforschung könnten mit Hilfe von Quantencomputern besser gelöst werden als mit klassischen Mitteln. "Wenn man das irgendwie quantifizieren will, dann denke ich, dass auf Basis der Fragestellungen und Aufgaben (Komplexität der Systeme und Größe der Berechnungen) weniger als fünf Prozent aller Fragestellungen überhaupt sinnvoll von zukünftigen Quantencomputern adressiert werden können. Und diese müssten bis dahin deutlich weniger fehleranfällig werden."

Dr. Markus Hoffmann von Google Quantum AI weiß, die Entwicklung von Quantencomputern befindet sich aktuell in der sogenannten NISQ-Ära. „NISQ steht hier für ‚Noisy intermediate-scale quantum‘ und bedeutet, dass die Qubits, mit denen der Quantencomputer rechnet, aktuell die Rechnungen nur ‚noisy‘, also noch nicht fehlerfrei durchführen können. Basierend auf dieser Mission sind unsere Ziele für das nächste Jahrzehnt, einen fehlerkorrigierten Quantencomputer zu bauen und industrierelevante Anwendungen für Quantencomputer zu finden.“

In diese Richtung argumentiert auch Dr. Michael Förtsch, CEO des Start-Ups Q.ANT GmbH in Stuttgart: "Wir sind gerade dabei herauszufinden, was diese Technologie wirklich kann und wo ihre Grenzen liegen." Es gehe dabei um die Identifizierung ech-

ter Quantenprobleme, etwa Molekül- und Proteinsimulationen in der Chemie oder die Simulation neuer Werkstoffe, in denen quantenmechanische Phänomene Teil der Aufgabe seien. Rasch werde das nicht gehen: „Wir müssen ehrlich anerkennen, dass wir hierfür noch einige Jahre Entwicklung vor uns haben. Es bräuchte deutlich mehr Qubits und eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit, um diese Aufgaben zu lösen. Und schließlich gibt es die komplex-klassischen Probleme, die sich auf heutiger Standardarchitektur nur schwer berechnen lassen.“

„Unsere Technologie ist ein vielversprechender Kandidat für die Realisierung von digitalen Quantencomputern“, ist sich Dr. Johannes Zeiher vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching sicher. Seine Quantensimulatoren basieren auf ultrakalten Atomen und das Institut liegt seit Jahren an der Spitze der Grundlagenforschung. Man gehe freilich aktuell davon aus, „dass sie ihr volles Potenzial erst unter Anwendung der sogenannten Quantenfehlerkorrektur entfalten können, die Gegenstand der aktuellen Grundlagenforschung ist“.

Dr. Robert Axmann, Leiter der DLR Quantencomputing-Initiative (QCI) und Dr. Eric Breitbarth, Wissenschaftler am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung, arbeiten in ihren jeweiligen Fachgebieten Schritt für Schritt an Problemlösungen. Axmann sieht als vordringliche Aufgabe, das Grundlagenwissen in die Industrie zu tragen sowie industrielle Fertigungs- und Nutzungskompetenzen für Quantencomputer auszubauen. Breitbarth legt den Fokus auf „die Entwicklung geeigneter Quantenalgorithmen“.

Dr. Cornelius Hempel, Leiter der Ionenfallen-Quantumcomputing-Gruppe am ETH Zürich - PSI Quantum Computing Hub, ist überzeugt vom Potenzial der Quantenrechner, weiß aber auch aus eigener Erfahrung, dass quantenmechanische Prozesse empfindlich auf kleinste Störungen reagieren. „Anwendungen sind im Bereich maschinelles Lernen und der Planung und Optimierung zu finden“, so der Wissenschaftler. Freilich stehe das Ganze unter Vorbehalt der Realisierung „fehlerkorrigierte Quantencomputer“.

DEBATTENBEITRAG

06.12.2022 | INTERVIEW

QUANTENCOMPUTING BRAUCHT GEDULD, FANTASIE UND EXPERTISE

Wie die neue Technologie anwendungsbereit gemacht werden kann



Prof. Dr. Rüdiger Quay, Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF, Kompetenzzentrum Quantencomputing Baden-Württemberg, Freiburg [Quelle: IAF]

Noch steckt das Quantencomputing tief in den Kinderschuhen, weiß Prof. Dr. Rüdiger Quay, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF. Vom Berechnen komplexer Moleküle in der Materialforschung beispielsweise sei man noch sehr weit entfernt. Allerdings schlummerten diesbezüglich enorme Potenziale in der Technologie.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Quantencomputing kann bereits heute gewisse numerische Probleme lösen, besonders in Kombination mit klassischer Technik. Im Vergleich mit normalen Rechnern ist

ein Quantenvorteil jedoch noch nicht konkret sichtbar. Dennoch verspricht die Technologie langfristig einige Vorteile in der Skalierung spezieller Rechnungen, insbesondere in der Materialforschung oder in der klassischen Optimierung. Eine große Herausforderung ist die noch mangelnde Qualität und Stabilität der Qubits, also der Informationseinheiten von Quantenrechnern. Hier lassen sich Parallelen zu den ersten Computern in den 1940ern bzw. 50ern ziehen, deren Schaltelemente und Elektronenröhren noch sehr anfällig waren und oft ausfielen. Menschen konnten damals im Allgemeinen noch besser rechnen als diese Computer. Und heute? Übertrumpfen leistungsfähige Rechner längst das menschliche Gehirn. In der Quantencomputing-Forschung suchen wir gerade das, was später der Silizium CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) für die klassischen Computer wurde. Und mit jedem Tag kommen wir der praktischen Anwendung etwas näher.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe von Quantencomputing?

Quantencomputer können spezifische Rechnungen – etwa Differentialgleichungen – auf eine völlig neue Art und Weise lösen. Die quantenmechanische Funktionsweise erlaubt absehbar eine viel effizientere Orbital- und Molekülberechnung, da sie den Eigenschaften von Atomen oder Molekülen viel ähnlicher sind. Dabei sind wir mit ein paar 100 Qubits bei heutigen Systemen erst am Anfang – bei Digitalrechnern nutzen wir Milliarden Transistoren pro Chip. Sobald Quantencomputer mit mehreren 1000 Qubits jedoch höher skalieren, können wir neue Materialien besser simulieren. Zudem ist die Zahlenverarbeitung, wie wir sie heute betreiben, sehr ineffizient und verbraucht riesige Energiemengen. Das führt dazu, dass sich viele Probleme wie die Simulation komplexer Moleküle derzeit gar nicht numerisch mit vertretbarem Aufwand lösen lassen. Durch die strukturellen Ähnlichkeiten können Quantencomputer dies viel energieeffizienter berechnen. Hier muss man nur den Kilowatt-Verbrauch an Strom für die Kühlung eines Quantensystems dem Megawatt-Verbrauch für die Rechenleistung eines digitalen Großrechners gegenüberstellen.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von Vornherein ausschließen?

Als Wissenschaftler am Institut für nachhaltige technische Systeme der Universität Freiburg sage ich klar: Die kann man nicht ausschließen. Aber ein großer Hebel liegt jedoch darin, die Forschung an neuen Materialien zu verbessern. Wie oben gezeigt, lässt sich durch Quantencomputing künftig viel Energie für Simulationen mit Großrechnern sparen. Viele Probleme von Interesse sind trotz langer Entwicklung der numerischen Codes auch im Jahr 2022 nicht lösbar. Schon einfachste Moleküle wie das Wasserstoff-Molekül überfordern uns mathematisch und numerisch mit der bisherigen Rechentechnik. Viele Entwicklungen basieren hier noch auf „Trial and error“. Dabei bestehen Medikamente oder Verbundstoffe aus noch viel komplexeren Molekülen mit vielen Bindungen. Wenn wir diese künftig mit Quantenrechnern gezielt simulieren können, würde das nicht nur viele Ressourcen sparen. Wir würden auch die Strukturen der Probleme besser verstehen, was langfristig riesige Chance in Medizin oder Biotechnologie eröffnete.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

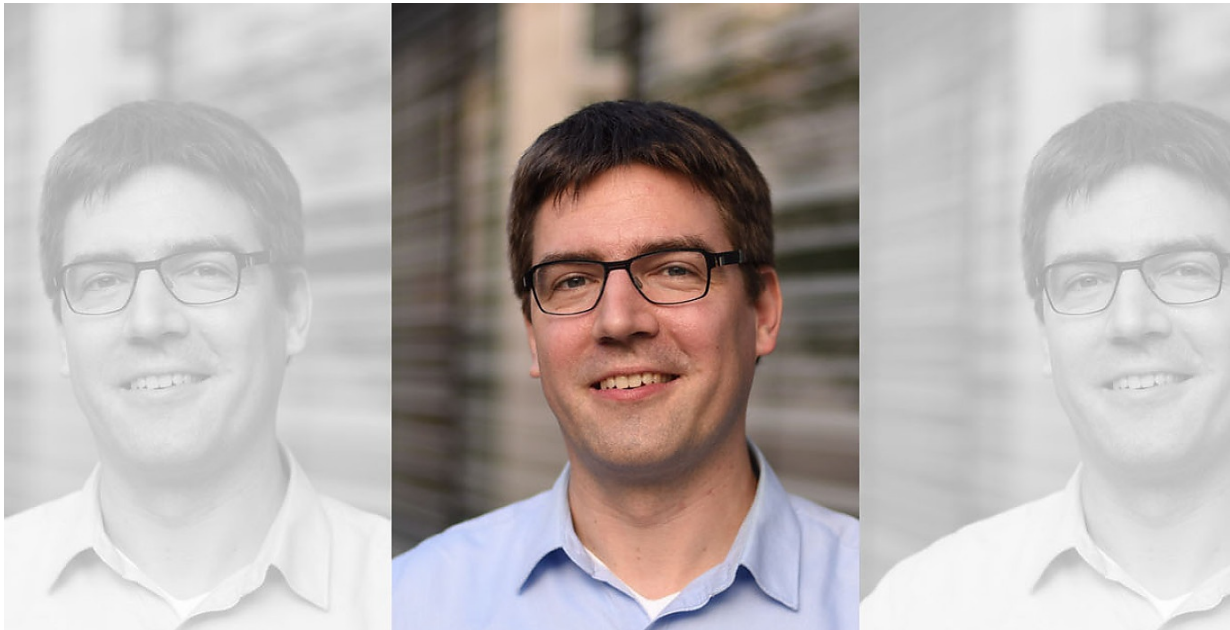
Wie jede neue Technologie braucht Quantencomputing drei Dinge: Geduld, Fantasie und Expertise. Und das möglichst im Einklang, um die Möglichkeiten und Risiken zunehmend realistisch einzuschätzen. Es gibt eine Erfahrung in der Wissenschaftstheorie: Die Möglichkeiten neuer Technologien werden kurzfristig systematisch überschätzt, langfristig aber deutlich unterschätzt. Das wird besonders deutlich an der Genese des Internets: Niemand hatte dessen enorme Wirkung vorhersagen können, als man die ersten Rechenmaschinen baute. Das zeigt, wir sollten Quantencomputing als eine Zutat der Digitalisierung weiter systematisch fördern, denn technologische Entwicklungen auf atomarer bzw. Molekülebene werden uns neue Welten eröffnen. Ein weiterer unverzichtbarer Baustein ist die Weiterbildung von Menschen, um Expertise aufzubauen. Regulatorisch ist die Technologie nicht anders als jede andere: Es braucht Absprachen, Standardisierung und Normen, so dass unterschiedliche Ansätze parallel nutzbar werden. Da ist gerade im Moment viel zu tun. Zum Beispiel fehlt uns ein einheitliches Betriebssystem wie damals das MS-DOS oder Windows mit der dahinerstehenden Systematik.

DEBATTENBEITRAG

07.12.2022 | INTERVIEW

QUANTENCOMPUTING IST EIN MARATHON, KEIN SPRINT

Regulatorische Weichen stellen, strategisch Langzeitentwicklung fördern



Dr. Cornelius Hempel, Leiter der Ionenfallen-Quantumcomputing-Gruppe am ETH Zürich, Paul Scherrer Institut, PSI Quantum Computing Hub [Quelle: Privat]

"Quantencomputer können sehr nützlich sein", ist Dr. Cornelius Hempel, Leiter der Ionenfallen-Quantumcomputing-Gruppe am ETH Zürich - PSI Quantum Computing Hub, überzeugt. Aber quantenmechanische Prozesse reagierten empfindlich auf kleinste Störungen, adäquate Methoden zur Fehlerkorrektur würden noch erforscht. Der Wissenschaftler kennt diese Probleme, hat aber auch einen Plan für deren Lösung.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantumcomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Quantencomputer als praktisch anwendbare Technologie stecken noch in Kinder-

schuhen. Sie sind heute aber keine Fantasie mehr, sondern treiben über Prototypen schon jetzt viele technologische Fortschritte an, die gar nichts mit Berechnungen zu tun haben. Das hängt mit den notwendigen Bauteilen und Fertigungsprozessen zusammen, welche oft auch in vielen anderen Gebieten Verwendung finden – ähnlich wie bei der Raumfahrt.

Als spezialisierte Rechner sind Quantencomputer für bestimmte, ausgewählte Probleme sehr nützlich – allerdings erst, sobald man sie in entsprechender Größe verlässlich bauen kann. So können solche Rechenmaschinen weit effizienter als herkömmliche Computer die Struktur und das Verhalten von Atomen und Molekülen berechnen, da sie – genau wie diese – den Gesetzen der Quantenphysik folgen und diese nicht erst umständlich simulieren müssen. Davon profitieren sowohl Grundlagenforschung als auch industrielle Anwendungen, die unmittelbar uns allen zugute kommen. Verlässlich funktionierende Quantencomputer erlauben es so, bisher unlösbare Rechenaufgaben in Physik und Chemie in Angriff zu nehmen und neue Wege in Materialwissenschaften oder auch Pharmazie zu eröffnen. Größere Quantencomputer können jedoch auch weit verbreitete Verschlüsselungscodes brechen – das ist die Anwendung, welche den Wettlauf zu dieser Technologie ursprünglich angeschoben hat.

Alle diese Anwendungen haben jedoch eines gemeinsam: der Computer soll verlässliche Ergebnisse liefern und auch bei längeren Rechnungen keine Fehler anhäufen. Bei herkömmlichen digitalen Computern ist das selbstverständlich. Bei Quantencomputern stellt dies eine immense Herausforderung dar, da quantenmechanische Prozesse äußerst empfindlich auf kleinste Störungen reagieren. Etablierte Methoden zur Fehlerkorrektur in Computern lassen sich dabei nur sehr beschränkt übertragen, so dass sich aktuell der Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung in diese Richtung bewegt. Die Entwicklung dieser Quantenfehlerkorrektur macht inzwischen bedeutende Fortschritte. So gelang es verschiedenen Forschungsgruppen und Unternehmen 2021 erstmalig, mehrere physische Quantenbits (Qubits) zu einem sogenannten logischen Quantenbit zusammenzuschalten. Dazu wurden etwa 20 physische Qubits

kombiniert; für ein einzelnes, fehlerfreies logisches Qubit sind aber wahrscheinlich mindestens 50-100 physische Qubits sowie weitere Fortschritte in der Hardware notwendig. Daher auch das Streben nach mehr Qubits und besserer Qubit Qualität – beides regelmäßig präsent als Schlagzeilen in Technologiema­gazinen und Pressemitteilungen von Instituten und Unternehmungen.

Parallel zu diesem, eher klassischen, Ansatz der Technologieentwicklung gibt es jedoch aktuell auch einen Wettlauf darum, ein kommerziell relevantes Problem zu finden, bei dem man auch schon mit den aktuell fehlerbehafteten, physischen Qubits einen Rechenvorteil erlangen kann. So wächst die Anzahl der potenziellen Anwendungen für Quantencomputer stetig – bisher aber immer mit der Erkenntnis, dass Fehlerkorrektur für einen Vorteil notwendig ist.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quanten-Computing?

Ein Quantencomputer könnte vom Prinzip her Werkstoffe von Grund auf, d.h. Atom für Atom, modellieren und ihr Verhalten unter verschiedenen Umweltbedingungen wie Temperaturen, Druck und Belastung simulieren. So liessen sich Vorhersagen über die Materialeigenschaften treffen, die man heute auch mit Näherungsrechnungen auf Supercomputern nicht ermitteln kann. Man könnte also neue Materialien genau wie Gebäude und Maschinen im Computer entwerfen, ohne dass man sie erst stückweise zusammensetzt und testet. Weitere Anwendungen sind im Bereich maschinelles Lernen und der Planung und Optimierung zu finden. Beim maschinellen Lernen geht es darum, in einer Menge von Daten Muster zu finden, mit denen der Computer neue Materialien klassifizieren und Eigenschaften vorhersagen kann, ohne alles von Grund auf neu zu berechnen. Optimierungsprobleme findet man überall in der Industrie. Hier geht es um die effiziente Nutzung beschränkter Ressourcen und auch dort gibt es bereits Quantenalgorithmen, die Vorteile versprechen – sobald der fehlerkorrigierte Quantencomputer Realität ist.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch

Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Diese Frage ist gut, aber nicht spezifisch zu Quantencomputern, sondern eher generell zu beantworten. Hier stehen wir einerseits alle als Konsumenten in der Verantwortung und müssen unseren Teil beitragen, aber auch die Nutzer der Technologie müssen die entsprechenden Rahmenbedingungen setzen, um beispielsweise Optimierungsrechnungen so aufzustellen, dass Ressourcen und die Umwelt geschont werden. In dieser Hinsicht unterscheiden sich Quantencomputer also nicht von anderen Technologien.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

Auch wenn sie eben noch nicht als nutzbringende Technologie existieren, sind Quantencomputer schon jetzt ein Opfer ihres Erfolgs in der aktuellen ersten Welle kommerziellen Interesses. Quanteneffekte wie Überlagerungszustände (Superposition) und Verschränkung (Entanglement), die man in unserer alltäglichen Welt nicht findet, bergen ein großes Maß an Potential, sind jedoch naturgemäß schwer zu verstehen. Das vernebelt die Wahrnehmung um den tatsächlichen Stand der Technologie und sorgt, gekoppelt mit übertrieben optimistischen Aussagen von Firmen und begeisterten Medienberichten, für eine Überschätzung der Technologie zum heutigen Zeitpunkt. So wird der Blick auf den wahren Langzeitnutzen von kurzfristigen Schlagzeilen überdeckt und es besteht die Gefahr der großen Desillusion – ein Schicksal, welches schon anderen Technologien widerfahren ist. Der Wettlauf lohnt sich dennoch und jetzt ist der Zeitpunkt, regulatorische Weichen zu stellen und strategisch die Langzeitentwicklung zu fördern. Es gilt zu erkennen, dass Quantencomputing ein Marathon und kein Sprint ist. Die Technologie hat das Potential, der Menschheit großen Nutzen zu bringen, aber eben nur, wenn sie auch zu Ende entwickelt wird und die Rahmenbedingungen entsprechend gesetzt sind.

DEBATTENBEITRAG

09.12.2022 | INTERVIEW

ÖKOSYSTEM QUANTENCOMPUTING ENTWICKELN

Wie Wirtschaft, Industrie und Forschung gemeinsam die neue Chance nutzen können



Dr. Robert Axmann, Leitung DLR Quantencomputing-Initiative (QCI) [Quelle: DLR]

Dank Quantenrechnern neue Materialien erschaffen? Im Prinzip kein Problem, aber... Dr. Robert Axmann, Leiter der DLR Quantencomputing-Initiative (QCI) und Dr. Eric Breitbarth, Wissenschaftler am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung, wissen um die Herausforderungen und arbeiten in ihren jeweiligen Fachgebieten Schritt für Schritt an Problemlösungen.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Robert Axmann: Schon vor vielen Jahrzehnten haben unter anderem die Physiker Feynman, Cirac und Zoller die Grundlagen für den Bau von Quantencomputern gelegt. Der große Durchbruch kam, als Peter Shor 1994 einen Geschwindigkeitsvorteil des

Quantencomputer gegenüber klassischen Supercomputern bei der Primzahlzerlegung nachwies hat. Das war nicht nur ein mathematisch interessantes Problem, sondern eine Quantenanwendung mit potenziell großen Auswirkungen. Das war ein Startschuss! Seitdem arbeiten weltweit Forschung und Wirtschaft daran, diese Idee eines radikal neuen, auf quantenmechanischen Effekten beruhenden Rechners - und den dafür geeigneten Algorithmen und Problemen - in die Realität umzusetzen.

Heute sind wir einen großen Schritt weiter: Wir wissen, wie man Qubits für eine Rechnung herstellen, manipulieren und miteinander verschränken kann. Und wir kennen viele Fragestellungen, die ein Quantencomputer potenziell mit exponentiellem Geschwindigkeitsvorteil im Vergleich zu einem klassischen Supercomputer beantworten kann.

Die Chancen, die sich daraus für Wirtschaft, Industrie und Forschung bieten, sind enorm. Doch noch ist viel Entwicklungsarbeit nötig - vor allem muss das Grundlagenwissen in die Industrie getragen und industrielle Fertigungs- und Nutzungskompetenzen für Quantencomputer ausgebaut werden.

Quantencomputer können auf vielfältige Weise realisiert werden, zum Beispiel mit Qubits auf Basis von Photonen, Ionenfallen, Supraleitern oder Fehlstellen in Diamant. Doch selbst die derzeit fortschrittlichsten Quantencomputer bieten zu wenige Qubits und zu schlechte Gattergüten (die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Berechnungsschritt fehlerfrei vollzogen werden kann), als dass sie einen wirtschaftlich relevanten Quantenvorteil erbringen könnten.

Und noch ist völlig unklar, welche Systeme gut skalieren, also höhere Anzahlen von Qubits erlauben, und welche Möglichkeiten zur Fehlerkorrektur sie bieten. Deswegen ist es umso wichtiger, dass viele dieser Qubit-Technologien erforscht werden.

Gleichzeitig ist es wichtig, dass erste Anwendungen in der Wirtschaft, insbesondere aber in der Industrie auf Quantencomputer realisiert, verstanden und ausprobiert werden. Das sind zum Beispiel besonders effiziente Such- und Optimierungsalgorithmen.

men und Methoden der Quantenverschlüsselung. Davon können Logistik, Energiesysteme, die Industrie schon bald profitieren. Die Entwicklung eines aktiven Ökosystems Quantencomputing muss man immer als gleichzeitige Entwicklung der Quanten-Hardware und der darauf zugeschnittenen Anwendungen sehen.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

Robert Axmann: In Deutschland und Europa wird das Ökosystem Quantencomputing auf viele verschiedene Wege unterstützt. In Deutschland stärken vor allem die Initiativen des Bundes die Entwicklung der Quantentechnologien: Bis 2025 entwickeln das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Ökosystem Quantencomputing durch Förderung und das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz durch Beauftragung von Konsortien aus Forschung und Industrie.

Daraus setzt die DLR Quantencomputing-Initiative auf: Als Ankerkunde ermöglicht sie es Startups, KMUs und der klassischen Industrie, gemeinsam mit dem DLR Gesamtsysteme, Teilaspekte oder Anwendungen im Bereich Quantencomputing zu entwickeln. Damit legen wir die Grundlage für ein weiteres Wachstum des Marktes in Deutschland. Das heißt, dass wir neben der Entwicklung der notwendigen Hardware und Software auch die Entwicklung des notwendigen Personals ermöglichen. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Kontinuität, da der wirtschaftlich relevante Quantenvorteil sowie die Umsetzung von industriellen Geschäftsprozessen auf Quantencomputern noch einige Jahre dauern wird.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quantencomputing?

Eric Breitbarth: Als jemand, der Quantencomputer im Rahmen der DLR Quantencomputing Initiative nutzt, um neue Materialien zu erforschen, kann ich sagen, die Materialforschung profitiert gleich doppelt von den Möglichkeiten des Quantencomputings. Durch ihr Rechenprinzip können Quantencomputer viel genauer und mit viel höherer Qualität Materialien simulieren - und das auch parallel. Das beschleunigt die Suche nach neuen und optimalen Materialzusammensetzungen. Wichtig ist aber auch hier

immer stärker die Entwicklung geeigneter Quantenalgorithmen.

Um das Problem genauer zu beschreiben: Die heute technisch relevanten Werkstoffe können aus mehr als zehn chemischen Elementen in unterschiedlichen Konzentrationen bestehen und sind, allein für metallische Werkstoffe, das Ergebnis der Kombination von etwa 50 bis 60 häufig verwendeten Elementen. Damit sind mehr als 10^{10} Kombinationen möglich, deren Wechselwirkungen mit den derzeitigen Berechnungswerkzeugen nicht analysiert werden können. Mit Quantencomputern werden wir Materialien simulieren können, die mit heutigen Näherungsmethoden nicht zugänglich sind. Das ist ein großer, wichtiger Fortschritt.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Eric Breitbarth: Angesichts von Klimawandel, Rohstoffverknappung und steigender Energiekosten muss die Menschheit schnell nachhaltige Lösungen entwickeln, um das aktuelle Wohlstandsniveau auch für zukünftige Generationen zu erhalten. Ein Schlüssel dafür sind innovative und effiziente Materiallösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Unser Ziel beim DLR-Institut für Werkstoff-Forschung bei der Anwendung von Quantencomputern sind Lösungen zur Entwicklung nachhaltiger und energieeffizienter Werkstoffe.

Neue Leichtbau- und Energiewerkstoffe sollen nicht nur bestimmte technische Eigenschaften erfüllen, sondern auch mit den gegebenen Ressourcen herstellbar sein. Gleichzeitig sollen deren Produktion und Einsatz zur Reduzierung von CO₂-Emissionen beitragen. Der zukünftige Einsatz von Wasserstoff als Energieträger stellt dabei ganz besondere Anforderungen an Werkstoffe, die heute teils noch nicht hinreichend erforscht sind. Computergestützte Modellierung sind hierbei ein wichtiges Werkzeug um beispielsweise Wasserstoffversprödung oder das Materialverhalten bei kryogenen Temperaturen zu ergründen. Quantencomputer ermöglichen uns dabei, weit über die aktuellen Möglichkeiten hinaus, nachhaltige Lösungen zu finden.

DEBATTENBEITRAG

09.01.2023 | INTERVIEW

ABSEHBAR KEIN MEHRWERT DURCH QUANTENCOMPUTING IN DER BREITE

Warum der Nutzen derzeit nahezu null ist



Dr. Marek Checinski, Geschäftsführer der CreativeQuantum GmbH Berlin [Quelle: Männig]

Nach fast 15 Jahren Erfahrung industrienaher Forschung ist sich Dr. Marek P. Checinski, Geschäftsführer des Berliner Unternehmens CreativeQuantum sicher, dass aktuell nur sehr wenige Fragestellungen in der Material- bzw. Chemieforschung mit Hilfe von Quantencomputern besser gelöst werden können als mit klassischen Mitteln. Quantencomputer bieten aus seiner Sicht, wenn überhaupt, nur in wenigen Nischenanwendungen signifikante Vorteile.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Das Quantencomputing steckt noch immer tief in den Kinderschuhen, der Hype ist

deutlich größer als der aktuelle Nutzen. Dieser lässt sich gegenüber herkömmlichen Simulationsansätzen und Computern hingegen einfach quantifizieren: Er ist gleich 0. Das heißt, es gibt gegenwärtig nichts, was Quantencomputing in der Chemischen Forschung und Entwicklung besser und effizienter und preisgünstiger leisten kann als der aktuelle Ansatz.

Das, was Fachleute jenseits von Presse und Marketing auf diesem Gebiet berichten, erweckt bei mir den Eindruck, dass man derzeit im Bereich des Quantencomputing auf dem Entwicklungsstand des Jahres 1965 bei der Transistoren-Technologie ist. Und da das Marketing heutzutage deutlich besser und schneller als damals ist, eilen die Meldungen über das Potential und die Nützlichkeit von Quantencomputing im Chemie- und Materialbereich dem Entwicklungsstand sehr viel schneller voraus. Es ist nicht auszuschließen, dass sich das Quantencomputing ähnlich entwickeln kann wie die Transistor-Technologie, aber das wird insbesondere für die Anwendung in der Chemie wahrscheinlich nicht in den nächsten zehn Jahren passieren und es wird nicht die gleiche gesellschaftliche Bedeutung erreichen können.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quanten-Computing?

Aktuell keine, aber auch in der Zukunft sehe ich nur sehr wenige Bereiche, für die ein Quanten-Computer einen Mehrwert bieten kann. 15 Jahre intensive F&E-Aktivität in der Chemischen Industrie zeigen mir, dass bei KEINEM F&E-Projekt Quantencomputer einen entscheidenden Unterschied hätten machen können. Das heißt aber nicht, dass es diesen Vorteil nicht doch für einzelne Fragestellungen geben könnte.

Der Wesentliche Faktor in der Forschung und Entwicklung ist der Mensch, denn der Parameterraum in der molekularen Welt ist so gigantisch, dass man selbst mit Quantencomputern, ohne es zu wissen oder zu verstehen, an der vollkommenen falschen Stelle suchen kann und dann nur wesentlich schneller wesentlich mehr sinnlose Daten erzeugt.

Wenn man das irgendwie quantifizieren will, dann denke ich, dass auf Basis der Fra-

gestellungen und Aufgaben (Komplexität der Systeme und Größe der Berechnungen) weniger als fünf Prozent aller Fragestellungen überhaupt sinnvoll von zukünftigen Quantencomputern adressiert werden können. Und diese müssten bis dahin deutlich weniger fehleranfällig werden.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Jegliche wirtschaftliche Aktivität hat einen Umwelteinfluss. Für jedes neue Produkt braucht man Energie. Selbst wenn man diese Produkte nur auf Basis von CO₂, N₂ und H₂O magisch erzeugen würde, dann bräuchte man immer noch Energie. Selbst Solarmodule und Windkraftträder haben einen Einfluss auf die Umwelt, der ist jedoch massiv geringer als der eines Kohle- oder Gaskraftwerks, und hat nicht die Sicherheits- und Entsorgungsproblematiken von Atomkraftwerken.

Das Einzige, was effektiv Ressourcenverschwendung entgegenwirkt, ist Verzicht, Reduktion oder Veränderung von Konsum. Das fängt etwa beim Fleischkonsum oder dem Import von Äpfeln aus Übersee an und geht bis hin zu Kreuzfahrten oder Inlandsflügen. Im Kapitalismus wird nur das langfristig produziert bzw. an Ressourcen eingesetzt, was gekauft wird. Der Käufer/Konsument ist mit Abstand der mächtigste Akteur in der Ressourcenverschwendungsdebatte. Eine höhere Energie- oder Rohstoffeffizienz hilft in erster Linie nur den produzierenden Unternehmen, eine höhere Marge zu erreichen oder überhaupt wettbewerbsfähig zu werden (bleiben) oder bestehende Regularien einzuhalten.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

Keine wesentlich größere, als die für aktuelle Transistoren-Technologien, denn der Großteil an typischen Fragestellungen kann kosteneffizient bereits mit normalen Computern und Algorithmen erledigt werden. Nur für die wenigen speziellen Anwendungsfälle braucht man Quantencomputer, und innerhalb der chemischen Forschung und Entwicklung gibt es auch nur wenige Spezialfälle, in denen Quantencomputer

einen Unterschied machen könnten.

Die Förderung der klassischen Computertechnologie kommt immer der Masse der Menschen und der Masse der einfachen Aufgaben und Fragestellungen zugute. Von der Förderung spezieller Anwendungsfälle von Quantencomputern profitieren allein große Unternehmen und Regierungen mit ihren jeweils unterschiedlichen Motiven, sowie einzelne Forschungsgruppen, die ihrem Hobby unbeschwert nachgehen können. Meiner Meinung nach kann man schlicht nicht behaupten und erwarten, dass durch eine massive Förderung von Quantencomputern sich vergleichbare Vorteile für die Gesellschaft ergeben, wie damals durch die Förderung der Transistor-Technologie. Das Marketing eilt leider dem Status Quo und dem theoretisch realisierbarem Mehrwert für die Breite der Gesellschaft um Lichtjahre voraus.

DEBATTENBEITRAG

23.01.2023 | INTERVIEW

FEHLERKORRIGIERTER QUANTENCOMPUTER ALS ZIEL FÜR DAS NÄCHSTE JAHRZEHNT

Welche Anstrengungen nötig sind, um das Quantencomputing nutzbar zu machen



Dr. Markus Hoffmann, Global Quantum Computing Partnerships and Programs Lead, Google Research [Quelle: Privat]

"Der Quantencomputer ist ein neues Werkzeug, um Berechnungen für bestimmte Fragestellungen auszuführen", sagt Dr. Markus Hoffmann von Google Quantum AI. Er weiß, welche Fragen das sind und welche Probleme noch zu lösen sind, um am Ende eines eher langen Weges erfolgreich zu sein.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Die Entwicklung von Quantencomputern befindet sich aktuell in der sogenannten NISQ Ära. NISQ steht hier für "Noisy intermediate-scale quantum" und bedeutet, dass die Qubits, mit denen der Quantencomputer rechnet, aktuell die Rechnungen

nur "noisy", also noch nicht fehlerfrei durchführen können. Die Anzahl der für heutige Quantencomputer verfügbaren Qubits bewegt sich im zweistelligen bis niedrigen dreistelligen Bereich; die Skalierung dieser Zahl ist zwar eine wichtige Größe in der weiteren Forschung, für einen fehlerkorrigierten Quantencomputer ist es jedoch ebenso wichtig, die Fehlerraten der Qubits zu reduzieren.

Dies ist auch der Fall für den von Google Quantum AI entwickelten Quantencomputer. Unsere Mission in diesem Bereich ist es, der Welt erstklassige Quantencomputer als Werkzeug zur Verfügung zu stellen, die Probleme lösen können, die mit klassischen Computern unpraktikabel oder unmöglich zu lösen sind. Basierend auf dieser Mission sind unsere Ziele für das nächste Jahrzehnt, einen fehlerkorrigierten Quantencomputer zu bauen und industrierelevante Anwendungen für Quantencomputer zu finden.

Mit dem "Beyond Classical Experiment" im Oktober 2019 hat Google Quantum AI gezeigt, dass ein Quantencomputer in der Lage ist, den schnellsten Supercomputer für eine abstrakte Fragestellung zu übertreffen. In diesem Experiment berechnet der Quantencomputer eine Aufgabe in 200 Sekunden, für die der beste Supercomputer der Welt zur damaligen Zeit Tausende von Jahren gebraucht hätte. Die klassischen Simulationsalgorithmen sowie die klassische Hardware werden selbstverständlich im Laufe der Zeit immer besser, allerdings ist diese Verbesserung auch der Fall für den Quantencomputer selbst. Bei Hinzufügen von nur einem weiteren Qubits verdoppelt sich die Leistungsfähigkeit des Quantencomputers.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quanten-Computing?

Der Nobelpreisträger Richard Feynman sagte einst: "Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical." Angesichts der Tatsache, dass materialwissenschaftliche und chemische Probleme native Quantensysteme sind, befasst sich unsere Forschung derzeit mit Fragestellungen in den Materialwissenschaften oder der Chemie.

Die Forschung von Google Quantum AI erfolgt im sehr engen Austausch mit dem weltweiten Quanten-Ökosystem. Dazu gehören unsere akademischen Forschungspartner, Start-ups, erste industriellen Forschungspartner wie BASF, Covestro oder Boehringer Ingelheim.

Auch bei den industriellen Forschungspartnerschaften handelt es sich nach wie vor um offene Grundlagenforschung mit dem Ziel, das Feld voranzubringen. Zwei der größten Herausforderungen in den kommenden Jahren sind, zum einen eine ausreichende Anzahl an Wissenschaftler*innen auszubilden und zum anderen Algorithmen zu verbessern oder gar neue Quantenalgorithmen entdecken.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Der Quantencomputer ist ein neues Werkzeug, um Berechnungen für bestimmte Fragestellungen auszuführen. Wie in "Beyond Classical Experiment" gezeigt, kann dies für ausgewählte Probleme in deutlich kürzerer Zeit und somit deutlich geringerem Energieverbrauch erfolgen. Viel wichtiger ist hier jedoch anzumerken, dass bestimmte Probleme aufgrund ihrer mathematischen Fragestellungen von klassischen Computern gar nicht gelöst werden können. Ein typisches Beispiel hierfür sind die Materialwissenschaften, welche u.a. von großer Bedeutung für die Transformation der Automobilindustrie hin zur Elektromobilität sind. Heute kommen bei den Batterien von Elektroautos häufig seltene Erden zum Einsatz, da mit klassischen Methoden keine alternativen Materialien gefunden werden können. Der Quantencomputer bietet hier nun Berechnungsmöglichkeiten, die potenziell in der Zukunft die Suche nach solchen Materialien unterstützen können.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

Die Förderung von Quantencomputing ist noch in vielen Bereichen deutlich ausbaubar. Als erstes ist hier wie bereits kurz angesprochen die Ausbildung von künftigen Wissenschaftler*innen elementar. Trotz der in den letzten Jahren stark angewachse-

nen "Quantum Community" benötigt es eine deutlich größere Anzahl an Personen, die sich mit dem Bau von Quantencomputern als auch den zugehörigen Algorithmen beschäftigen.

An zweiter Stelle ist die stark limitierte Anzahl an Algorithmen aufzuführen. Hier ist ein deutlich erhöhter Förderbedarf gegeben, um letztlich die Entwicklung von industriell wertvollen Applikationen zu ermöglichen. Als Metapher könnte man sagen: Es möchten zwar viele ein Haus bauen, die Anzahl an kompetenten Arbeitskräften als auch an Werkzeugen ist aber nach wie vor sehr überschaubar.

Der dritte Punkt mit Förderbedarf ist die Lieferkette. Was für die Entwicklung von Applikationen die Algorithmen sind, ist die Lieferkette für den Quantencomputer. Heute müssen Hersteller von Quantencomputern spezielle Komponenten häufig noch selbst entwickeln, da diese in der erforderlichen Anzahl oder Qualität auf dem Markt nicht zu finden sind. Hier bieten sich für Start-Ups, als auch bestehende Unternehmen große Möglichkeiten, Bestandteil der weltweiten Quantum-Lieferkette zu werden.

DEBATTENBEITRAG

07.02.2023 | INTERVIEW

QUANTENCOMPUTING ALS GROSSE TECHNOLOGIECHANCE FÜR DAS 21. JAHRHUNDERT

Wie man verantwortungsvoll mit der neuen Technik umgeht



Dr. Michael Förtsch - Chief Executive Officer, Q.ANT GmbH Stuttgart [Quelle: Q.ANT GmbH]

"Wir sind gerade dabei herauszufinden, was diese Technologie wirklich kann und wo ihre Grenzen liegen", sagt Dr. Michael Förtsch, CEO der Q.ANT GmbH in Stuttgart mit Blick auf das Quantencomputing. Rasch werde das nicht gehen, man habe noch viele Jahre Entwicklung vor sich.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Quantencomputing ist eine der großen Technologiechancen des 21ten Jahrhunderts. Genau deshalb ist es mir so wichtig, dass wir verantwortungsvoll mit dieser Chance umgehen. Heute gibt es dabei die verschiedensten technologischen Ansätze, um

einen Quantencomputer zu realisieren: Supraleiter, Ionen, Spins und Photonen. Und klar: ich sehe große Vorteile in der photonischen Plattform, insbesondere in der Plattform, die wir bei Q.ANT entwickeln. Den entscheidenden Vorteil sehe ich darin, dass unsere Qubits auch bei Raumtemperatur funktionieren, womit sich vielfältigste Alltagsanwendungen auf tun.

Klar ist aber auch: alle Plattformen haben noch viel Entwicklung vor sich. Diese Entwicklung ist kein Sprint, sondern ein Marathon über etliche Jahre. Auf dieser Reise werden wir die Technologie sukzessive weiterentwickeln und dabei die Potentiale, und den sich daraus entwickelnden Mehrwert, verstehen. In besonderem Maße sehe ich es als Entwickler dieser Technologie auch als unsere Pflicht an, zu jedem Zeitpunkt über die gesicherten Potentiale zu informieren und aufzuzeigen, wo wir die Grenze zur Spekulation überschreiten.

Aus meinem heutigen Verständnis gibt es dabei drei Klassen von Problemen: Es gibt Probleme, die sich schon heute mit der klassischen Von-Neumann-Architektur gut lösen lassen. Für diese Problemstellung brauchen wir keinen Quantencomputer. Dann gibt es die echten Quantenprobleme, etwa Molekül- und Proteinsimulationen in der Chemie oder die Simulation neuer Werkstoffe, in denen tatsächlich quantenmechanische Phänomene Teil der Aufgabe sind. Dazu brauchen wir auf jeden Fall einen Quantencomputer. Wir müssen aber auch ehrlich anerkennen, dass wir hierfür noch einige Jahre Entwicklung vor uns haben. Es bräuchte deutlich mehr Qubits und eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit, um diese Aufgaben zu lösen. Und schließlich gibt es die komplex-klassischen Probleme, die sich auf heutiger Standardarchitektur nur schwer berechnen lassen. Das ist der spannende Bereich für die nächsten Jahre. Quantencomputing eröffnet den Zugang zu neuen Algorithmen, die genau diese Art von Problemen adressieren und schnell Ergebnisse liefern. Dabei sehe ich hier eine Symbiose, da die neuen Denkansätze aus dem Quantencomputing auch das klassische Computing verbessern werden.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quan-

tencomputing noch?

Deutschland genießt im internationalen Umfeld großes Ansehen, da wir mit der gezielten Förderung der Quantentechnologie bereits vor einigen Jahren begonnen haben. Dieser Mut sichert uns die Chance, technologisch auch weiterhin ganz vorne mitzuspielen und eine echte Hightechindustrie aufzubauen. Da es sich bei dem Thema Quantencomputing um einen Marathon handelt, bedarf es nun einer langfristigen Strategie, um dieses Thema über mehrere Jahrzehnte auch von staatlicher Seite zielgerichtet zu begleiten.

Als Ansatz könnte ich mir vorstellen, dass die Bundes- und Länderregierungen selbst als Kunde dieser Technologie auftreten. Von so einem Schritt würden beide Seiten enorm profitieren. Als Firma gewinnt man frühzeitig einen Kunden und die politischen Entscheidungsträger würden sich intensiver mit den Inhalten auseinandersetzen und klären, welche Aspekte besonders wichtig sind, und welche zurückgestellt werden können. Aus den gewonnenen Erkenntnissen entsteht eine gewisse Fokussierung.

Des Weiteren sollte die Konzentration auf Technologie und weniger auf Administration liegen: Die Prozesse zu Antragstellung und Verwaltung der Programme sind sehr aufwändig, in der Vereinfachung der Prozesse schlummert noch viel Potential.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quantencomputing?

Die Entwicklung neuer Werkstoffe ist ein enorm wichtiges Thema in vielen Zukunftsfeldern, angefangen von der Chemieindustrie bis hin zur Automobilindustrie. Der große Wunsch ist, nicht mit den Kompromissen heutiger Werkstoffe leben zu müssen, sondern Werkstoffe bedarfsgerecht für ihren jeweiligen Einsatzzweck zu entwickeln.

Dabei sehen wir heute viele Parallelen, wie ein Quantencomputer Berechnungen ausführt, und wie Werkstoffe, bestehend aus Atom- und Molekülverbindungen, mithilfe der Quantenmechanik beschrieben werden. Aus dieser Parallele entsteht die Vision,

dass Quantencomputer bei der Suche nach neuen Materialien einen Berechnungsvorteil bieten.

Um diese Vision wahr werden zu lassen, braucht es auf der einen Seite deutlich leistungsfähigere und zuverlässigere Quantencomputer. Und auf der anderen Seite müssen wir unsere Algorithmen weiterentwickeln. Beides kann nur im engen Schulterschluss gelingen.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Ohne Zweifel muss es der Anspruch sein, dass unsere Bemühung, Quantencomputing für die Entwicklung neuer Werkstoffe einzusetzen, auch unserem Anspruch an Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung gerecht wird.

Eine fundierte Aussage heute darüber zu treffen, ob Quantencomputing uns bei der Entwicklung von nachhaltigen und umweltfreundlichen Produkten helfen kann, halte ich zum aktuellen Zeitpunkt für zu früh.

Wir sind gerade dabei, die ersten Erfolge mit dieser Technologie zu zeigen und herauszufinden, was diese Technologie wirklich kann und wo ihre Grenzen liegen.

DEBATTENBEITRAG

08.03.2023 | INTERVIEW

FORSCHUNG ZU QUANTENCOMPUTERN STECKT NOCH IN DEN KINDERSCHUHEN

Welche Erkenntnisse es auf fundamentaler Ebene gibt



Dr. Johannes Zeiher, Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Quantenoptik Garching [Quelle: MPQ-MPG]

"Unsere Technologie ist ein vielversprechender Kandidat für die Realisierung von digitalen Quantencomputern", ist sich Dr. Johannes Zeiher vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching sicher. Er berichtet zudem, was diese Technologie ausmacht, welche Probleme noch auftreten und wo sich Lösungen andeuten.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Die Forschung zu Quantencomputern steckt noch in den Kinderschuhen. Wir befinden uns in einer Phase, in der sowohl verschiedene Hardwareplattformen, zum Beispiel supraleitende Schaltkreise, gefangene Ionen oder kalte Atome, aber auch unter-

schiedliche Ansätze zur Realisierung von Quantencomputern, zum Beispiel digitale oder analoge Ansätze, verfolgt werden. Aktuell verfügbar sind Geräte, die fehlerbehaftet sind, sogenannte „NISQ“- (Noisy Intermediate-Scale Quantum) Geräte.

Man geht inzwischen davon aus, dass sich in diesem NISQ-Bereich mithilfe analoger Rechner die größten Fortschritte erzielen lassen. Hier steht das Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) mit seinen Quantensimulatoren basierend auf ultrakalten Atomen seit Jahren an der Spitze der Grundlagenforschung. Die Maschinen am MPQ verwenden lasergekühlte Atome in optischen Gittern, um zum Beispiel Elektronen in Festkörpern und deren Dynamik besser zu verstehen. Dazu werden diese Systeme mit Hilfe von neutralen Atomen nachgebildet und können mit Sensitivitäten bis hinunter zu einzelnen Atomen kontrolliert und detektiert werden. Die daraus resultierenden Erkenntnisse sind auf fundamentaler Ebene relevant für die Entwicklung neuer Materialien, da sich grundlegende Mechanismen des Zusammenspiels vieler Quantenteilchen aufdecken lassen. Auf klassischen Rechnern sind solche Systeme und deren Dynamik oft gar nicht oder nur näherungsweise berechenbar, so dass diese Systeme schon heute in speziellen Fällen klassischen Rechnern überlegen sind.

Längerfristig gilt diese Technologie auch als ein vielversprechender Kandidat für die Realisierung von digitalen Quantencomputern. Quantencomputer dieser Art sind noch flexibler einsetzbar, aber auch anfälliger für Fehler und benötigen mehr Ressourcen, d.h. eine größere Anzahl von Qubits. Man geht aktuell davon aus, dass sie ihr volles Potential erst unter Anwendung der sogenannten Quantenfehlerkorrektur entfalten können, die Gegenstand der aktuellen Grundlagenforschung ist. Gleichwohl haben sich mittlerweile auch einige Start-ups formiert, die Neutralatom-Quantenrechner dieser Art entwickeln wollen. Dazu gehört auch das Münchner Start-up plan-qc, das 2022 aus dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik heraus entstanden ist und das Ziel verfolgt, einen digitalen Quantenrechner basierend auf neutralen Atomen zu entwickeln und dabei auf die langjährigen Erfolge im Bereich der Grundlagenforschung aufzubauen.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quanten-Computing?

Quantencomputer oder Quantensimulatoren bieten natürliche Vorteile gegenüber klassischen Rechnern, so z.B. in der Suche nach Werkstoffen, die auf Quanteneffekten aufbauen. Beispiele hierfür sind Supraleiter oder auch magnetische Materialien, die auf der Manipulation des magnetischen Moments einzelner Atome beruhen. Solche Materialien lassen sich nur näherungsweise mit Hilfe von klassischen Methoden beschreiben. Mit Quantensimulatoren können die entsprechenden Systeme hingegen direkt realisiert und untersucht werden. Hier ist die Analogie mit einem Windkanal hilfreich: Die exakte Modellierung eines Flügels ausschließlich auf einem klassischen Computer ist aufwändig und oft nicht genau genug. Daher finden auch Windkanaltests an Modellsystemen statt, die – gegebenenfalls im Zusammenspiel mit klassischen Rechnungen – neue Erkenntnisse ermöglichen und Bauteile optimieren sollen. Gleichzeitig können solche analogen Modellsysteme als Referenzsysteme für numerische Verfahren auf klassischen Computern agieren, um deren Rechen- und Näherungsmethoden zu verbessern und zu überprüfen.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Quantencomputer und -simulatoren eröffnen die Perspektive, neuartige Materialien mit genau kontrollierten Eigenschaften herzustellen. Durch die gezielte Ausnutzung bestimmter Effekte können die Materialien möglicherweise besonders effizient und ressourcenschonend sein. Aktuell ist die Frage, inwieweit sich Ressourcen einsparen lassen, allerdings extrem schwierig zu beantworten, da zwischen der Entdeckung neuartiger Materialeigenschaften und der skalierbaren, industriell optimierten Fertigung noch viele Entwicklungsschritte notwendig sind.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

Durch die weltweiten Quanteninitiativen erlebt Quantencomputing und die Entwicklung von Quantenökosystemen, z.B. in Deutschland und Europa, momentan viel

Unterstützung. Es ist jedoch sehr wichtig, dass neben der klassischen Grundlagenforschung auch junge Start-ups insbesondere in der Wachstumsphase unterstützt werden, um durch die Weiterentwicklung von anwendungsorientierter Technologie einen wichtigen Beitrag auf dem Weg in Richtung skalierbarer, digitaler Quantenrechner leisten zu können.

DEBATTENBEITRAG

22.03.2023 | INTERVIEW

WIE VERBESSERTE HARDWARE DAS QUANTENCOMPUTUNG PUSHEN KANN

Welche Fortschritte es gibt - und was noch fehlt



Professor Johannes Fink, Institute of Science and Technology Austria (ISTA) Klosterneuburg [Quelle: Anna Stöcher, ISTA]

"Es ist wichtig klarzustellen, dass Quantenprozessoren noch keine praktisch relevante Aufgabe besser oder schneller lösen als herkömmliche Rechner", erklärt Professor Johannes Fink vom Institute of Science and Technology Austria (ISTA) in Klosterneuburg. Er weiß aber auch, mit welchen Schritten und Lösungen relevante Ergebnisse erzielt werden könnten.

Wie ist der aktuelle Stand beim Quantencomputing als Technologie, was kann sie potenziell leisten, was kann sie besser als herkömmliche Rechner?

Es ist wichtig klarzustellen, dass Quantenprozessoren noch keine praktisch relevante Aufgabe besser oder schneller lösen als herkömmliche Rechner. Der Abstand in punc-

to Rechenschritten - oder noch wichtiger in absoluter Zeit - ist nicht klein, sondern da sind sehr viele Größenordnungen dazwischen. Eine Ausnahme sind spezielle Prozesse, die nativ auf Quantenrechnern ablaufen, für die aber noch keine relevanten Anwendungen bekannt sind. Hier wurde in der Tat gezeigt, dass man das - zumindest ursprünglich - nur mit sehr großen klassischen Supercomputern reproduzieren kann - wenn überhaupt. Die Herausforderung, solche Prozesse, die auf Quantenrechnern nativ ablaufen, auch mit klassischer Hardware zu simulieren, hat zu enormen algorithmischen Fortschritten geführt und das dürfte auch eines der ersten nützliche Produkte aus dieser Forschungsrichtung sein: sogenannte quantum inspired algorithms, die bei konventionellen Rechnern zu genaueren oder schnelleren Ergebnissen führen können.

Das eigentliche Potential des Quantencomputing, für z.B. die Materialphysik und andere potentielle Anwendungen, wird sich voraussichtlich erst mit deutlich besserer Hardware einstellen, als sie jetzt verfügbar ist. Es war ein Durchbruch für das Feld, als gezeigt wurde, dass es auch in einem Quantencomputer prinzipiell möglich ist, Fehler zu korrigieren. Allerdings ist es so, dass die Qualität der Gatter und Quanten-Bits (Qubits) über einem bestimmten Grenzwert liegen müssen. Der Aufwand, die Kosten und die Komplexität steigen extrem an, wenn die Qualität der Hardware zu nahe an diesem Grenzwert liegt und es zeigt sich, dass es eine große technische Herausforderung ist, die Qualität hoch zu halten, wenn die Prozessoren größer werden. Erst diesen Monat ist es dem Team von Google erstmals gelungen zu zeigen, dass eine Fehlerkorrektur mit mehrerer physischen Qubits ein paar Prozentpunkte besser abschneidet als mit weniger Qubits. Das ist der erste Schritt von vielen zu einem einzelnen fehlerkorrigierten Qubit. In der Folge müssen dann noch fehlerkorrigierte Gatter zwischen solchen Qubits realisiert und das ganze skaliert werden, um relevante Probleme zu lösen.

Mit so einem fehlerkorrigierten Quantencomputer werden wir dann nicht unbedingt bekannte Probleme schneller lösen, sondern Problemstellungen angehen, die man mit einem klassischen Rechner prinzipiell gar nicht lösen kann. Nützliche Anwendun-

gen für Quantencomputer, die nicht auf Fehlerkorrektur zurückgreifen – zum Beispiel wie sie jetzt schon zum Teil verfügbar sind - kann man nicht mit absoluter Sicherheit ausschließen, entbehren im Moment aber einer soliden Grundlage und basieren im Wesentlichen auf dem Prinzip Hoffnung.

Welche Vorteile bietet die Suche nach neuen Werkstoffen mithilfe des Quanten-Computing?

Es ist klar, dass es mithilfe eines Quantenrechners, der nativ Quanten-Vielteilchen-Probleme lösen kann, potentiell viel schneller gehen könnte, die Eigenschaften neuer Werkstoffe vorherzusagen. Im Moment werden diese Materialien mit viel Erfahrung, Intuition, oder auf gut Glück synthetisiert und getestet. Bei kleineren Systemen gibt es auch klassische Rechenmethoden, mit denen sich so ein Quantensimulator wird messen müssen. Diese klassischen Methoden verlassen sich auf Näherungen, die im Laufe der Zeit immer besser und genauer wurden, die aber z.B. im Bereich der stark korrelierten Elektronensysteme schnell ihre Gültigkeit verlieren. Solche Systeme sind dementsprechend auch am vielversprechendsten, um mit Quantensimulation Vorschritte zu erzielen und neue Materialien zu entdecken oder existierende besser zu verstehen und weiterzuentwickeln.

Wie lassen sich umweltbeeinträchtigende Produkte bzw. Verfahren oder auch Ressourcenverschwendung von vornherein ausschließen?

Im Kern ist das Rechnen mit Quanten reversibel und daher Ressourcen schonend. In der Praxis sind es die Kühlsysteme oder Laser, die einen Löwenanteil des Energieverbrauchs ausmachen. Aber selbst wenn man diese berücksichtigt, sind die paar kW Verbrauch recht gering im Vergleich zu einem Supercomputer-Cluster, den es zu ersetzen oder zu übertreffen gilt.

Etwas breiter betrachtet fließen natürlich bereits jetzt substantielle Ressourcen (Zeit, Geld, Energie) in die Quantencomputing-Forschung und Industrie, und es ist noch nicht absehbar ob dies zu nützlichen und nachhaltigen Produkten führen wird. Aber auch in dieser breiten Betrachtung ist eine positive Bilanz zu erwarten, sobald es

gelingt, neue Materialien wie z.B. nutzbare Raumtemperatur-Supraleiter zu entwickeln.

Welche Art der Förderung bzw. regulatorische Unterstützung benötigt das Quantencomputing noch?

Nach anfänglicher Skepsis in der Industrie dominiert aus meiner Sicht jetzt eher die „fear of missing out“. Damit die Vision eines nützlichen Quantenrechners oder Simulators aber real werden kann, braucht es nicht nur die Skalierungsversuche in der Industrie, sondern vor allem ein klares Bekenntnis und Anreize zu mehr Qualität in der Hardware. Die Kontrolle über einzelne Quanten und ihre Interaktionen untereinander sowie mit der Umgebung müssen noch um Größenordnungen verbessert werden. Das erfordert Grundlagenforschung auf allen Ebenen: Konzepte, Materialien, Kontroll- und Messmethoden.

Der zweite, fast noch wichtigere, Aspekt ist, dass wir zumindest eine sogenannte killer-app identifizieren müssen und das wird am Besten im Zwischenspiel zwischen theoretischen Konzepten und praktischen Versuchen mit immer besser werdender Quantenhardware von statten gehen. Hier geht es darum, den enormen Abstand zum klassischen Computing mit einer Anwendung zu überbrücken, wo die Quantenphysik ihre speziellen Eigenschaften effektiv zum Einsatz bringen kann. Das sind typischerweise Probleme, die mit wenig Daten aber komplexen Interaktionen zu tun haben und wo wir einen idealerweise exponentiellen Vorteil sehen als Funktion der Größe des Problems – wie das z.B. bei der Primfaktorzerlegung der Fall ist.

IMPRESSUM

Herausgeber

Barthel Marquardt GbR
Merseburger Straße 200
04178 Leipzig
Tel: 0341 24 66 43 72
E-Mail: marquardt@meinungsbarometer.info
www.meinungsbarometer.info

V.i.S.d.P.

Dipl.-Journ. Nikola Marquardt

Idee, Konzept, Projektleitung

Dipl.-Journ. Thomas Barthel

Redaktion

Barthel Marquardt GbR

Diese Dokumentation darf nicht - auch nicht in Auszügen - ohne schriftliche Erlaubnis der Redaktion vervielfältigt und verbreitet werden. Die Dokumentation wurde mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt. Trotzdem können wir für die enthaltenen Informationen keine Garantie übernehmen. Die Redaktion schließt jegliche Haftung für Schäden aus, die aus der Nutzung von Informationen dieser Dokumentation herrühren.