

Quantencomputer: Auf dem Weg zur skalierbaren Hardware

- Quantencomputer versprechen, selbst die größten Supercomputer an Leistungsfähigkeit deutlich zu übertreffen und bisher unlösbare Probleme zu meistern.
- Ein Durchbruch wären Quantencomputer mit 50 Qubits. Ihre Zustände zu beschreiben, verlangt 2^{50} reelle Zahlen, mehr als die größten Supercomputer speichern können.
- Dieses extrem große Informationsvolumen lässt sich allerdings nur nutzen, wenn man die empfindlichen Überlagerungszustände der Qubits beliebig koppeln kann, ohne sie zu verlieren.
- Noch ist nicht klar, welche Hardware-Plattform sich durchsetzen wird.

Ein Quantencomputer soll eine anwendungstaugliche Maschine sein. Einerseits muss man sie wie herkömmliche Computer nutzen können, andererseits muss die Maschine intern den fragilen Gesetzen der Quantenphysik folgen.

Qubits, die Recheneinheiten der Quantencomputer, unterliegen der Quantenphysik. Qubits können beispielsweise Atome, Spins oder nanoelektronische Bauelemente sein. Als quantenmechanisches Element kann ein 5-Qubit-Register alle $2^5 = 32$ Zahlen gleichzeitig repräsentieren, während ein 5-Bit-Register eines konventionellen Computers ausschließlich eine einzige Zahl zwischen 1 bis 32 darstellen kann (zum Prinzip des Quantencomputers siehe das Physik konkret Nr. 29). Allerdings verlieren die Qubits ihre Quanteneigenschaften,

wenn sie zu stark an ihre Umgebung koppeln. Dieses Phänomen heißt Dekohärenz. Die massive „Quantenparallelität“ erfordert allerdings hinreichende Kohärenz.

Für den Bau eines Quantencomputers bedeutet das Funktionieren in beiden „Welten“ eine Gratwanderung: Einerseits muss der Computer durch technische Eingriffe steuerbar sein, andererseits muss er gut von der Umgebung isoliert sein, um seine Quanteneigenschaften zu erhalten und damit verbundene Fehler zu vermeiden. Entscheidend wird nicht nur die Zahl der Qubits sein, sondern auch die Fähigkeit, möglichst viele von ihnen miteinander zu koppeln. Eine „magische Zahl“ für ausreichend große Quantencomputer sind 50 Qubits.

Legt man Priorität auf die Kohärenz ist es naheliegend, Atome oder andere mikroskopische Systeme als Träger der Quanteninformation zu nutzen, bei denen kohärente Quanteneffekte gut zugänglich sind. Die Herausforderung besteht darin, diese Systeme zu skalieren, also zu leistungsstarken Quantenrechnern zusammenzusetzen. Der prominenteste und im Augenblick erfolgreichste Kandidat dieser Art sind in elektrischen Feldern gefangene Ionen, deren Zustände mit Lasern oder Mikrowellen gesteuert werden. Diese Technologie ermöglicht bereits heute die Realisierung von Quantencomputern mit 20 und mehr Qubits.

Der komplementäre Ansatz startet mit bekannt skalierbaren integrierten Schaltkreisen und versucht, diese durch Miniaturisierung und sorgfältige Gestaltung zu kohärenten Quantenobjekten zu machen. Das sind heute vor allem supraleitende Schaltkreise: sogenannte Josephsonkontakte.



Dieter Meschede, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

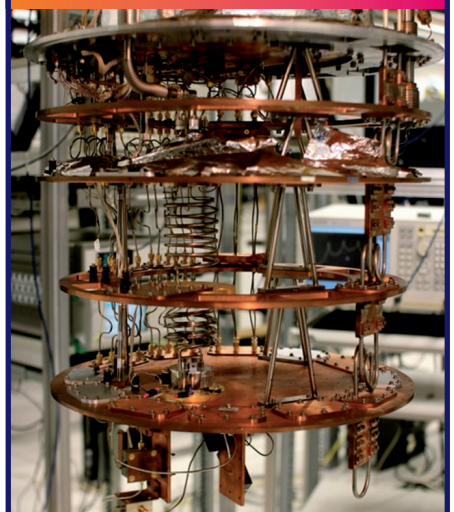
„Quantencomputer waren lange Zeit nur eine theoretische Phantasie – jetzt aber entstehen konkrete Prototypen.“

Diese nutzen die Eigenschaft mancher Materialien, den elektrischen Strom bei tiefen Temperaturen verlustfrei zu leiten und Magnetfelder perfekt zu verdrängen. Die Josephsonkontakte haben eine handhabbare Größe und gute Quanteneigenschaften – auch hier wurden bereits 20 Qubits erreicht.

Gemeinsam ist beiden Plattformen, dass sie Technologien ähneln, die zur genauen Definition von Standards und präzisen Messungen genutzt werden. Bei der Ionenfalle ist das die Atomuhr und bei Josephsonkontakten der Spannungsstandard.

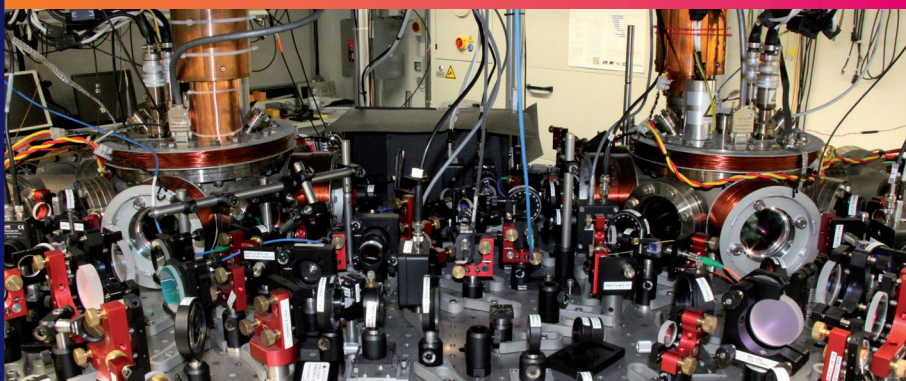
Auch wenn beide Plattformen sich im Augenblick ein Kopf-an-Kopf-Rennen liefern, ist die Suche nach dem endgültigen Kandidaten für eine skalierbare Hardware noch lange nicht abgeschlossen. Daher mag die Lektüre dieser Zeilen in einigen Jahrzehnten antiquiert wirken, wie seinerzeit die Entscheidung zwischen Relais und Röhren bei klassischen Computern.

Abb. 2



Quantensystem auf der Basis von Supraleitern. Dieser Einsatz einer Kältemaschine nutzt Kupferplatten, um die Temperatur konstant zu halten. Der Quantenchip hängt unten am Aufbau, das System wird von Zuleitungen und Peripherie dominiert. (Bild: Martin Weides, KIT + University Glasgow)

Abb. 1



Typischer Aufbau für Ionenfallen für einen Quantencomputer bestehend aus zwei Fallen, Spulen für Magnetfelder und einer Optik zur Steuerung. (Bild: Jürgen Eschner, Universität des Saarlandes)

Deutsche Physikalische Gesellschaft

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit mehr als 60.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Studierende, Lehrerinnen und Lehrer, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwälte oder Wissenschaftsjournalisten. Gegenwärtig hat die DPG neun Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.



Die Quantentechnologie-Initiativen der EU und des BMBF

Im Rahmen des Programms Future and Emerging Technologies startete die Europäische Union im Jahr 2018 das Quantum-Flagship als eine der größten und ambitioniertesten Forschungsinitiativen. Das Quantum-Flagship ist mit einem Budget von einer Milliarde Euro ausgestattet und hat eine Laufzeit von zehn Jahren. Hauptziel der Initiative ist es, die wissenschaftliche Führung und Exzellenz Europas auf diesem Forschungsgebiet zu festigen und auszubauen sowie die quantenphysikalische Forschung vom Labor auf den Markt zu bringen.

Bereits im September 2018 beschloss die Bundesregierung darüber hinaus das Förder-Rahmenprogramm „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ mit einem Umfang von 650 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung. Ziel ist, die Entwicklung der Quantentechnologien in Deutschland strategisch voranzutreiben. Deutsche Institute und Unternehmen sollen die sogenannte zweite Quantenrevolution maßgeblich mitgestalten und eine führende Rolle beim Transfer in die Anwendung und Vermarktung übernehmen. Das Rahmenprogramm definiert die Ausgangslage und skizziert Ziele und Maßnahmen bis 2022.



Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Geschäftsstelle Tel.: 02224 / 92 32 - 0
Hauptstraße 5 Fax: 02224 / 92 32 - 50
53604 Bad Honnef E-Mail: dpg@dpg-physik.de

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft
dankt Frank Wilhelm-Mauch, Universität des Saarlandes,
für die wissenschaftliche Beratung.