

IBM

Der Falke ist gelandet

Europas erster kommerzieller Quantencomputer steht auf dem Gelände von IBM in Ehningen nahe bei Stuttgart.

Maike Pfalz

Nur wenige Leuchten tauchen den Raum in schummriges Licht und geben den Blick durch die große Glasscheibe frei in den Nebenraum. Auch der ist fast komplett dunkel und leer bis auf einen drei Meter hohen Glaskasten. Darin hängt – angeleuchtet! – ein schwarzglänzender Zylinder. Fast sieht es aus, als würde dort ein kleines Ufo landen. Doch weit gefehlt: Es handelt sich um das erste IBM Quantum System One in Europa. Betreten darf man den Raum mit dem Quantencomputer nicht – der Zugang ist streng gesichert. Denn die Technologie in dem schwarzen Kasten ist geistiges Eigentum der Firma IBM, die das System auf ihrem Gelände in Ehningen aufgestellt hat; die Fraunhofer-Gesellschaft nutzt das System exklusiv.

Die frühere Bundeskanzlerin Angela Merkel hatte einen entscheidenden Anteil daran, dass der Quantencomputer nun auf deutschem Boden steht: Im Januar 2019 traf sie auf dem Weltwirtschaftsforum in Davos die damalige IBM-Chefin Virginia Rometty und befragte sie zum Stand des Quantencomputings und seinen Einsatzmöglichkeiten. Mit der Fraunhofer-Gesellschaft fand sich noch im gleichen Jahr ein Partner, der Forschungseinrichtungen und Unternehmen den Zugang zum Quantencomputer zur Verfügung stellt. Beim nächsten Treffen zwischen Merkel und Rometty im Berliner Kanzleramt im September des gleichen Jahres war schon alles unter Dach und Fach: Kurz zuvor hatten IBM und die Fraunhofer-Gesellschaft ihre Zusammenarbeit beim Quantencomputing verkündet.

Doch bis zur offiziellen Einweihung war es noch ein holpriger Weg. Als die IBM-Mitarbeitenden vom Standort Ehningen im März 2020 in die USA fliegen wollten, um sich das dortige System anzuschauen und von den Kolleginnen und Kollegen vor Ort mehr über den Aufbau und Betrieb eines solchen Systems zu lernen, kam ihnen die Corona-Pandemie in die Quere: „Unsere Flüge waren schon gebucht, aber dann wurden sämtliche Reisen gestrichen“, erinnert sich Sven Peyer, der als Manager für die Quantum-Hardware-Entwicklung bei IBM in Böblingen tätig ist und mit seinem Team am Aufbau des Systems in Ehningen beteiligt war. Stattdessen haben die Teams in Deutschland sich alles remote zeigen lassen müssen.

© 2023 Wiley-VCH GmbH

Der konkrete Aufbau des Systems startete im November 2020 – jeden Morgen um 9 Uhr deutscher Zeit ging es los. „Für die Kollegen in den USA war es zu der Zeit 3 Uhr nachts", betont Sven Peyer. Per Videokonferenz haben sich die beiden Teams getroffen, um Fragen zu klären und den Aufbau genau durchzugehen. Alle Leute vor Ort mussten Masken tragen und wurden regelmäßig von einem Arzt auf Covid-19 getestet. „Der trug einen Ganzkörperschutz. Und diese Tests waren im Herbst 2020 noch gar nicht flächendeckend vorhanden", beschreibt Peyer das Szenario.

Der Zeitplan war eng gesteckt, denn zum 1. Januar 2021 sollte das System betriebsbereit sein. Trotz der schwierigen Rahmenbedingungen funktionierte der Aufbau reibungslos und ohne Verzögerungen. Für den Einbau des Quantenchips in das ansonsten fertig installierte System reisten schließlich zwei IBM-Mitarbeiter aus den USA an – mit Sondergenehmigung und unter allerlei Sicherheitsvorkehrungen. „Während des Aufbaus sorgte eine spanische Wand dafür, dass niemand in das System reinschauen konnte", erinnert sich Sven Peyer. Am 20. Dezember lief das neue System erstmals, sodass die Mitarbeitenden in Ehningen anschließend die wohlverdienten Weihnachtsfeiertage genießen konnten.

Ein Ökosystem für Quantentechnologien

Die Einweihung des IBM Quantum System One fand schließlich am 15. Juni 2021 statt – in digitalem Beisein von Angela Merkel, der damaligen Bundesforschungsministerin Anja Karliczek und dem baden-württembergischen Ministerpräsidenten Winfried Kretschmann. Das Land Baden-Württemberg unterstützt die Initiative der Fraunhofer-Gesellschaft und von IBM über die gesamte Laufzeit von über drei Jahren mit bis zu 40 Millionen Euro. Der Großteil des Geldes fließt in Verbundprojekte des Fraunhofer-Kompetenznetzwerks Quantencomputing Baden-Württemberg sowie in Kooperationen mit Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und assoziierten Industriepartnern. „Mit dem Quantencomputer in Ehningen schaffen wir einen Beitrag für ein deutsches Quantentechnologie-Ökosystem mit internationaler Strahlkraft. Wir verzahnen wissenschaftliche Exzellenz und wirtschaftliche Schlagkraft. Das Potenzial und die Möglichkeiten sind enorm", betonte Kretschmann bei der Einweihung und bezeichnete das Projekt als Meilenstein auf dem Weg ins Quantenland Baden-Württemberg.

Die Fraunhofer-Institute IAO und IAF koordinieren das Kompetenznetzwerk Quantencomputing Baden-Württemberg, welches die zentrale Anlaufstelle für die Nutzung des Ehninger Systems ist. Diese erfordert einen Nutzungsvertrag mit der Fraunhofer-Gesellschaft auf Basis eines monatlichen Tickets, das rund 11 000 Euro kostet. Mehr als 70 Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik arbeiten eng mit dem Kompetenznetzwerk zusammen. Ziel hierbei ist es, Expertise auf- und auszubauen sowie quantenbasierte Rechenstrategien mit Blick auf Anwendungen auszuprobieren und weiterzuentwickeln.

Mögliche Anwendungen für den Quantencomputer sind beispielsweise Optimierungsprobleme, etwa bei der Containervorhaltung auf den Weltmeeren. „Ein Spediteur möchte seine Container möglichst genau dort haben, wo sie aktuell gebraucht werden", führt Sven Peyer aus: „Angebot und Nachfrage optimal aufeinander abzustimmen, spart Geld und Zeit." Eine andere Anwendung ist die Modellierung der Eigenschaften von Festkörpern, Flüssigkeiten, Gasen oder anderen Vielteilchensystemen sowie der darin ablaufenden Prozesse. Dies kann in der Materialforschung oder Pharmakologie helfen, Werk- bzw. Wirkstoffe maßzuschneidern und damit bessere Batterien oder neue Medikamente zu entwickeln.

Vom Falke bis zum Kookaburra

IBM setzt im Quantencomputing auf supraleitende Qubits, die bei etwa 15 mK operieren. Der Quantenchip des Ehninger Systems besitzt 27 Qubits und heißt „Falcon"; inzwischen wurde er gegen einen Falcon-Chip der neuesten Generation getauscht. Alle IBM-Quantenchips tragen den Namen von Vögeln – in den per Cloud verfügbaren Quantensystemen, die in den USA stehen, gibt es den Eagle-Chip mit 127 Qubits, aktuell ist der Osprey-Chip mit 433 Qubits verfügbar. Auf der Roadmap für das laufende Jahr steht der erste Chip mit über 1000 Qubits, der Condor. Parallel zum Condor, der auf der reinen Skalierung des Chips beruht, arbeitet IBM auch an modularen Systemen. Sie bestehen aus verschiedenen kleineren Grundeinheiten, die miteinander verbunden werden müssen. Derzeit reicht die Roadmap bis zum Kookaburra-Chip mit 4158 Qubits.

Google nutzt die gleiche Technologie wie IBM. Aber wie der genaue Aufbau des Chips aussieht, hängt von der firmeneigenen Technologie ab, sodass es durchaus Unterschiede gibt. Der Chip ist schwingungsfrei in einer Art „Kronleuchter" aufgehängt und von einer „Thermoskanne" ummantelt. Für die ultrakalten Temperaturen sorgt ein Gemisch aus Helium-3 und Helium-4, das den Kryostaten kühlt. Der stammt von der finnischen Firma Bluefors, dem Marktführer in diesem Bereich. In Ehningen ist das System



Ende 2020 bauten Mitarbeitende von IBM das System in Ehningen auf – remote angeleitet vom Team in den USA und unter Corona-Schutzbedingungen.

© 2023 Wiley-VCH GmbH



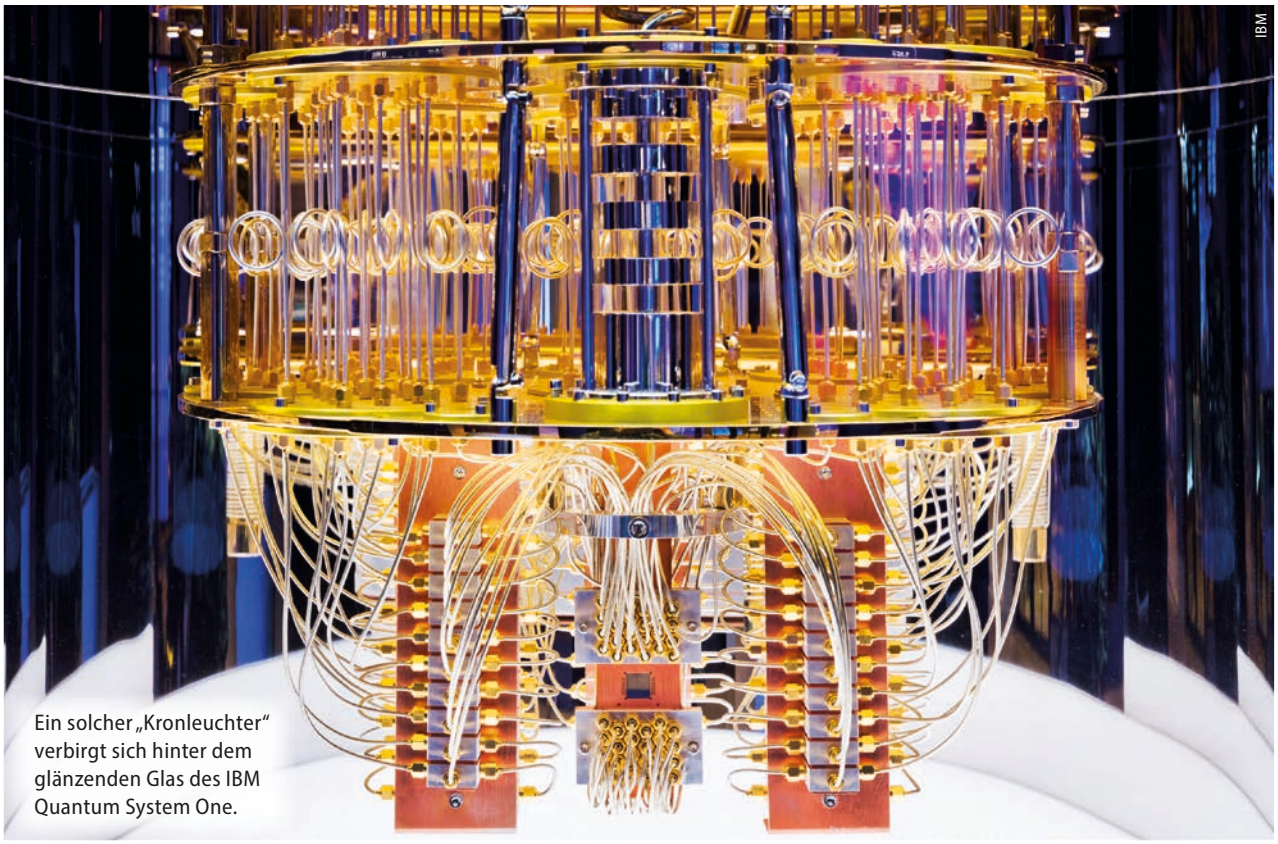
Der Eagle-Chip besitzt 127 supraleitende Qubits und wird aktuell in den per Cloud verfügbaren Systemen verbaut.

– wie alle anderen Vor-Ort-Installationen des IBM Quantum System One – zudem von dem gleichen Spezialglas der Firma Goppion umhüllt wie die berühmte Mona Lisa im Pariser Louvre. Physikalisch notwendig ist das nicht, aber auf jeden Fall hübsch anzusehen.

Alle anderen Bauteile des Quantencomputers befinden sich hinter dem schick angeleuchteten „Ufo" beziehungsweise im Nebenraum. Denn selbstverständlich gehören auch zu diesem Computer IT-Racks, unzählige Kabel – die sich teils auch in dem Doppelboden befinden – oder die Elektronik zur Ansteuerung der Qubits. Zur Programmierung hat IBM ein eigenes Software-Entwicklungspaket entwickelt, das auch ein Python-Interface anbietet: Qiskit. Dieses Tool steht der Open-Source-Gemeinschaft frei zur Verfügung, damit es Fachleute weltweit weiterentwickeln können. „Unser Ziel ist dabei, dass Programmierer der nächsten Generation ganz selbstverständlich damit umgehen", erläutert Sven Peyer.

Die Nutzung des Systems liegt in den Händen der Fraunhofer-Gesellschaft und ihrer Partner, IBM sorgt für den reibungslosen Betrieb, und zwar nahezu rund um die Uhr. Dafür gibt es Teams in Deutschland, Japan und den USA, die remote die IBM-Systeme weltweit betreuen. Ein lokales Team in Ehningen ist immer in Rufbereitschaft, um das System zu warten oder zu reparieren, wenn etwas mit der Hardware passiert. Innerhalb einer Stunde muss jemand vor Ort sein. „Das Schlimmste wäre, wenn sich der Chip aufwärmt. Das erneute Abkühlen geht relativ schnell, aber wir müssten jedes einzelne Qubit neu kalibrieren", sagt Sven Peyer. Einmal monatlich gibt es einen festen Zeitslot, in dem IBM gebündelt Wartungsprogramme einspielen kann – wenn es erforderlich ist. All dies zielt auf die bestmögliche Performance.

Das System in Ehningen nutzen Kunden zwar bereits für ihre Programmieraufgaben, aber es ist noch nicht groß genug, um einen tatsächlichen Mehrwert zu generieren. „Hier sind wir noch in der Lernphase, um zu schauen, wie sich das System gewinnbringend einsetzen lässt", meint Peyer. IBM möchte mit dem Quantencomputing einen „Vorteil" (Quantum Advantage) gegenüber klassischen Systemen wie den heutigen Supercomputern demonstrieren – und zwar bei einem industriell relevanten Problem. Im Juni schaffte es eine Veröffentlichung auf die Titelseite von „Nature", an der Forschende von IBM und der University of California in Berkeley beteiligt waren. Sie hatten ein zunehmend



Ein solcher „Kronleuchter" verbirgt sich hinter dem glänzenden Glas des IBM Quantum System One.

© 2023 Wiley-VCH GmbH

komplexes Problem simuliert: die Zeitentwicklung des 2D-Ising-Modells – einmal auf einem 127-Qubit-Prozessor und einmal mittels Approximierungsmethoden auf einem Supercomputer. Der Eagle-Prozessor lieferte jedes Mal Antworten, die mit den klassisch erzielten Ergebnissen übereinstimmten. Möglich war dies durch Verbesserungen der Kohärenzzeit sowie der Kalibrierung des supraleitenden Prozessors und durch die Fähigkeit, das Rauschen zu charakterisieren und kontrollierbar zu beeinflussen (Error Mitigation). Diese Arbeit hat erstmals die „Quantum Utility" gezeigt, also dass ein Quantencomputer trotz inhärenter Fehler zu sinnvollen und nutzbaren Ergebnissen gelangt.

Zu den Unsicherheiten einer Quantenmessung gehören etwa die Zeit, in der sich ein Quantenzustand auf einem Qubit stabil halten lässt, sowie die Fehlerwahrscheinlichkeiten bei den einzelnen Gate-Operationen. „Mit jeder einzelnen Berechnung verschlechtern sich die Qubitzustände und machen die Rechnung ungenauer", erklärt Sven Peyer. Dadurch ist die Zahl an durchführbaren Rechenschritten begrenzt. Diese Tiefe einer Berechnung gilt es zu erhöhen, etwa mittels Error Mitigation. In dem Nature-Paper ist es gelungen, 60 Rechenschritte nacheinander durchzuführen und trotzdem exakte Ergebnisse zu erzielen. „Entscheidend ist es, die Fehlerraten zu reduzieren und Methoden zu entwickeln, mit den Fehlern umzugehen", betont Peyer. Weitere Fehlerquellen sind beispielsweise Restwärme im System, Erschütterungen oder elektrische Streufelder.

Ein Dorf für Quanten

Das IBM Quantum System One in Ehningen war der Startpunkt für eine umfassende Standortentwicklung. Hier entsteht ein völlig neuer Campus und Laborstandort, der Firmen oder Start-ups ein modernes Umfeld bietet. Zeitgleich mit der Installation des Systems, also Ende 2020, wurde das Netzwerk „Quantum Village" gegründet – eine Initiative, um diesen Aufbau eines Zentrums für Quantentechnologie und Künstliche Intelligenz in Ehningen zu begleiten. Etwa dreimal pro Jahr gibt es eine gemeinsame Veranstaltung der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, von Fraunhofer und IBM. „Ziel ist es, über die regelmäßigen Events ein Netzwerk aufzubauen und Fachleute räumlich zusammenzubringen", sagt Sven Peyer.

Im April eröffnete das Fraunhofer IAO in Kooperation mit weiteren Partnern auf dem Gelände von IBM zudem das „Quantum & AI Experience Center" (Q.AX) für Fachleute wie auch die breite Öffentlichkeit, das mittels Demonstratoren, Schulungen, Fachkonferenzen und Events Technologien wie Quantencomputing, Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz verständlich und erlebbar machen soll. Angelegt als eine Mischung aus Erlebniswelt, Innovationslabor und Vernetzungsort soll das Q.AX aufzeigen, wie Quantencomputing und KI künftig unser Leben verändern oder welche Vorteile diese Technologien für Unternehmen bieten können.

Im nächsten Schritt entstehen ab 2025 die „Quantum Gardens" – ein innovativer Wohn-Tech-Campus mit Fokus auf Zukunftsbranchen, neuen Wohnformen sowie sozialen und infrastrukturellen Einrichtungen. „Das soll eine Art Quartier nach dem Konzept ‚live, work and play' sein", erläutert Sven Peyer. Dafür werden die meisten Bestandsgebäude des bisherigen Campus neuen Bauten weichen – alles, damit sich Fachleute und Firmen in Ehningen ansiedeln, um an gemeinsamen Zukunftsthemen zu arbeiten. Nach der Fertigstellung werden die Quantum Gardens, welche die Ozean Group entwickelt hat, mehr als 140 000 Quadratmeter Wohn-, Büro- und Einzelhandelsflächen umfassen – in direkter Nähe zu Europas erstem kommerziell verfügbaren Quantensystem und der neuen deutschen Zentrale von IBM, die ebenfalls in Ehningen sein wird. „Der Quantencomputer hat als Technologie eine ungeheure Anziehungskraft, die nun helfen soll, Fachleute hierher zu holen, Firmen anzulocken und einen einzigartigen Standort aufzubauen", betont Sven Peyer.



Hähnig – Gemmeke Architekten BDA Partnerschaft mbB

In Ehningen soll in den nächsten Jahren ein moderner Wohn-Tech-Campus entstehen, der Wohnen und Arbeiten miteinander verbindet.

Künftig wird das IBM Quantum System One im gleichen Gebäude Zuwachs erhalten, denn dort soll im Jahr 2024 IBMs erstes europäisches Quanten-Rechenzentrum seinen Betrieb aufnehmen. Zu dem bestehenden System werden ab dem kommenden Jahr weitere der neuen Generation hinzukommen, jedes davon mit mehr als hundert Qubits. Die neuen Systeme werden per Cloud verfügbar sein – allerdings bleiben alle Projektdaten in Europa, sodass Forschungseinrichtungen und Firmen unter Einhaltung der Datenschutzgrundverordnung auf diese Quantensysteme zugreifen und damit arbeiten können. Nutzer der Quantencomputer aus der IBM-Cloud sind im deutschsprachigen Raum beispielsweise Bosch, DESY, E.ON oder die T-Systems.

Die kleine Gemeinde Ehningen in der Region Stuttgart mit nicht einmal 10 000 Einwohnern ist bislang meist nur Pendlern nach Stuttgart bekannt. Doch vor wenigen Jahren hat dort eine rasante Standortentwicklung begonnen, welche die Gemeinde künftig zu einem Zentrum für Quantentechnologie in Baden-Württemberg und auch in ganz Deutschland machen wird.

© 2023 Wiley-VCH GmbH