

Projekt

Quantum Code Design and Architecture (QCDA)

Koordinator:

Prof. Dr. Robert König
Technische Universität München
Boltzmannstr. 3
85748 Garching
Tel.: +49 89 289-17042
E-Mail: robert.koenig@tum.de

Projektvolumen:

ca. 210.000 € (BMBF-Förderquote 100%) (deutsche Partner)

Projektlaufzeit:

01.04.2018 – 31.03.2021 (deutsche Partner)

Projektpartner:

- Technische Universität München, Garching
- Internationale Partner:
- University of Sheffield (United Kingdom)
 - INRIA of Paris (France)
 - Technical University of Delft (Netherlands)
 - University College London (United Kingdom)

QuantERA – Transnationale Förderung für die Quantentechnologien

Quantentechnologien bringen zahlreiche Chancen für neue Anwendungen in Industrie und Gesellschaft mit sich – in der Informationsübertragung und -verarbeitung, für höchstpräzise Mess- und Abbildungsverfahren oder für die Simulation komplexer Systeme. Szenarien sprechen davon, die Magnetfelder des Gehirns zu vermessen und Alzheimer oder Parkinson besser zu verstehen, den Verkehrsfluss zu optimieren und Staus zu vermeiden oder neue Werkstoffe und Katalysatoren allein auf der Grundlage von Simulationen zu entwickeln. Quantentechnologien schaffen dafür die Basis und haben das Potenzial, heute vorhandene technische Lösungen etwa in der Sensorik oder beim Computing deutlich zu übertreffen.

Die Quantentechnologien besitzen an vielen Stellen das Potenzial, in Anwendungsfeldern und Märkten eine dominante Rolle zu spielen. Allerdings steht das Feld noch am Anfang der Technologieentwicklung. Um Anwendungen zu erschließen bedarf es noch erheblicher Forschungsanstrengungen. Mit der transnationalen ERA-NET Maßnahme QuantERA unterstützt das BMBF zusammen mit Akteuren der anderen Teilnehmerländer und der Europäischen Kommission die Forschung im Bereich der Quantentechnologien. Perspektivisch betrachtet sind ERA-NET Instrumente für eine bedarfsgerechte und flexible transnationale Förderung als Ergänzung zur rein nationalen Förderung einerseits und zu den europäischen EU-Forschungsrahmenprogrammen andererseits.

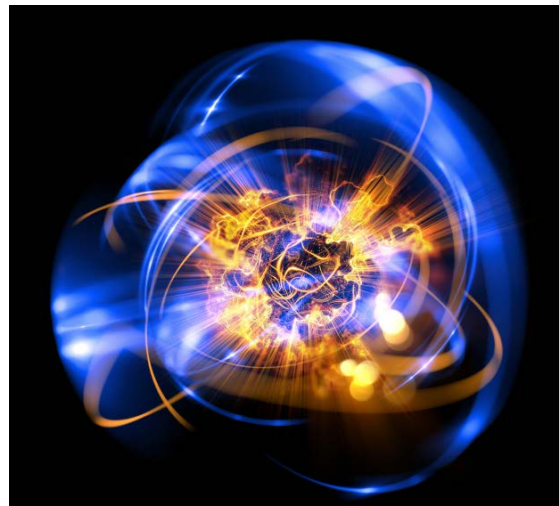


Bild 1: Die Quantentechnologien bilden die wissenschaftliche Basis für eine Vielzahl neuer Anwendungen.
(Quelle: fotolia ©rybindmitriy)

Fehlerkorrektur für störungsresistente Quantencomputer

Quantencomputer haben enormes Potenzial: Die Verwendung quantenmechanischer Effekte erlaubt komplett neue Formen der Informationsverarbeitung, deren Verwendung in der Naturwissenschaft und der Informationstechnologie weitreichende gesellschaftliche Nutzen verspricht. Der Realisierung von Quanteninformationsverarbeitung ist jedoch durch die intrinsische Fragilität von Quantenzuständen erschwert: Physikalische Qubits (Qubits), die direkt durch bestehende physikalischen Freiheitsgrade etwa in Elektronen oder Photonen realisiert sind, verlieren typischerweise ihre Kohärenz bevor sinnvolle Berechnungen durchgeführt werden können. Die Quantenfehlerkorrektur bietet hier einen Ausweg: Durch Verwendung kollektiver Freiheitsgrade können logische Qubits realisiert werden, die vor typischen Störungen abgeschirmt sind und längere Lebenszeiten besitzen. Von zentraler Bedeutung ist hierbei der Ressourcen-Overhead, d.h. die Frage, wieviele physikalische Qubits für ein einzelnes logisches Qubit einer bestimmten Güte benötigt werden.

Die von Kitaev vorgeschlagenen „Surface codes“ sind – insbesondere unter Hardware-Entwicklern – populäre Kandidaten für Quantencodes. Die Entdeckung dieser Codes ist einer der Hauptgründe für den derzeitigen Optimismus in diesem Forschungsgebiet: Diese Architekturen lassen hoffen, Quantencomputer in nicht allzu weiter Zukunft tatsächlich zu realisieren. Entsprechend arbeiten große industrielle Akteure wie Google, IBM und Intel an Hardwarearchitekturen für Quantencomputer, die auf den Surface codes basieren.

Ressourcenminimierung durch neue Codearchitekturen

Leider zeigt eine genauere Analyse, dass der Surface Code-basierte Ansatz für interessante Anwendungen erhebliche Ressourcen benötigt: Diese könnten im Bereich von Millionen von Qubits liegen. Daher ist es essentiell, die Architektur von Quantencomputern neu zu überdenken: Es gilt, alternative Ansätze zu finden, die sowohl praktisch sind, als auch mit weniger Ressourcen auskommen. Dies ist das Ziel des QCDA-Verbundprojektes: Es strebt das Design einer neuen Generation von logischen Qubits und Quantencodes an. Durch die Entwicklung neuer Architekturen sollen Hardware-Anforderungen markant reduziert werden. Dies wird den Übergang des Quantencomputings von einem akademischen Forschungsumfeld in die Industrie und Gesellschaft erleichtern.

Das Projekt hat zwei Forschungsschwerpunkte. Einerseits sollen Qubitcodes entwickelt werden, die Skaleneffekte zwischen großen Blöcken logischer Qubits nutzen. Entsprechende Konstruktionen sind in der konventionellen Informationstechnologie wohlbekannt: sogenannte LDPC (low density parity check) Codes werden standardmäßig in allen Kommunikationsnetzen verwendet. Das QCDA Projekt wird untersuchen, inwieweit sich diese hocheffizienten klassischen Techniken in Quantencodes übersetzen lassen.

Der zweite Schwerpunkt des Projektes ist die Entwicklung von Codes, die über Qubits hinausgehen. Dies ist dadurch motiviert, dass die Physik typischer Quantensysteme oft nicht diejenige einzelner Qubits sondern von Quantenoszillatoren ist. Beispiele entsprechender Hardware-Plattformen sind auf Licht basierende (quantenoptische) Systeme sowie supraleitende Schaltkreise. Die Konstruktion von Codes, die statt Qubits die speziellen physikalischen Eigenschaften von Quantenoszillatoren nutzen, verspricht experimentell einfacher realisierbare Lösungsansätze.

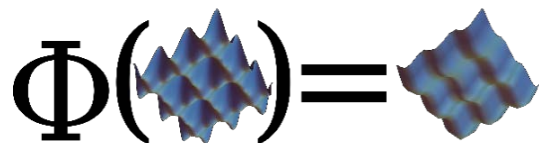


Bild 2: Grid-states sind spezielle Zustände bosonischer Quantensysteme, deren Wignerfunktionen gatterartige Form besitzt. Sie eignen sich zur Fehlerkorrektur, da ihre Struktur unter typischen Störungen wie z.B. Photonverlust erhalten bleibt. Die Figur visualisiert den Effekt eines Gaußschen Quantenkanals auf die Wignerfunktion. (Quelle TUM).