

Projekt

Elektrische Quantenschaltkreise – von Topologie zu Quanteninformation (TopcircuitsRR)

Koordinator:	Dr. Roman-Pascal Riwar Forschungszentrum Jülich GmbH Wilhelm-Johnen-Straße 52428 Jülich Tel.: +49 2461 61-9361 E-Mail: r.riwar@fz-juelich.de
Projektvolumen:	ca. 2,5 Mio. € (Förderquote 100%)
Projektlaufzeit:	01.01.2019 – 31.12.2023
Projektpartner:	➔ Forschungszentrum Jülich GmbH

Quantum Futur – Innovative Nachwuchswissenschaftler für Zukunftsthemen

Quantentechnologien sind Technologien, die auf der gezielten Ausnutzung von Quanteneffekten beruhen. Beispiele hierfür sind die Halbleitertechnologien, die Magnetresonanztomografie oder der Laser. Bei aktuellen Entwicklungen – der zweiten Generation der Quantentechnologien – steht der kontrollierte Quantenzustand einzelner oder gekoppelter Systeme selbst im Vordergrund. Dadurch ergeben sich Möglichkeiten für neue Anwendungen in der Informationsübertragung und -verarbeitung, höchstpräzise und -sensible Mess- und Abbildungsverfahren oder auch die Überwindung heutiger Beschränkungen bei der Simulation komplexer Systeme.

Herausfordernde Forschungsthemen wie die Quantentechnologien erfordern kluge Köpfe. Die Maßnahme „Quantum Futur“ soll exzellente Nachwuchswissenschaftler dabei unterstützen, mit Forschungsprojekten den Übergang von Erkenntnissen der Grundlagenforschung in neuartige Anwendungen voranzutreiben. Dabei erhalten sie die Möglichkeit, eine eigene, unabhängige Nachwuchsgruppe aufzubauen und neue interdisziplinäre Forschungsansätze aufzugreifen. Thematisch werden wesentliche Bereiche der Quantentechnologien zweiter Generation adressiert, insbesondere sind dies die Quantenkommunikation, die Quantensensorik und -metrologie sowie das Quantencomputing.

Neben der Durchführung innovativer Forschungsarbeiten ermöglicht die Maßnahme die Bildung von wissenschaftlichen Schwerpunkten und Zentren in der Quantentechnologie sowie eine thematische und personelle Ergänzung der bestehenden Forschungslandschaft. Deshalb unterstützt „Quantum Futur“ auch den Aufbau von Kompetenzen und die Vernetzung der Nachwuchswissenschaftler sowie die Schaffung von Synergien durch die gemeinsame Nutzung vorhandener Geräte und Anlagen.



Bild 1: Innovative Nachwuchswissenschaftler treiben die Quantentechnologien voran. (Quelle: © vit_head/Fotolia)

Verschiedene Wege zum Quantencomputer

Weltweit werden unterschiedliche Wege zur Realisierung eines Quantencomputers beschritten. Firmen wie Microsoft, Google, Intel, IBM oder Rigetti untersuchen teils stark verschiedene, teils verwandte Konzepte für die elementaren Bausteine eines Quantencomputers. Daneben werden weitere Varianten in zahlreichen Forschungsinstituten auf der ganzen Welt erforscht. Die verschiedenen Ansätze reichen von Halbleitern, Supraleitern, und Diamantkristallen, bis zu Atom- und Ionenfallen. In diesen Kategorien existieren dann noch einmal unterschiedliche Variationen, so dass letztlich kein Entwurf dem anderen gleicht.

Da der Quantencomputer mit extrem fragilen quantenmechanischen Systemzuständen seiner Schaltkreise operiert, kommt der Abschirmung dieser Zustände vor externen Störeinflüssen eine entscheidende Bedeutung zu. Es ist unbedingt erforderlich, diese quantenmechanischen Zustände lange genug in einem kontrollierten Zustand aufrecht zu erhalten, um die beabsichtigten komplexen Rechenoperationen durchführen zu können. Dies drückt sich im sehr wichtigen Parameter der „Kohärenzzeit“ eines solchen Computers aus. Die vergleichsweise kurze Kohärenzzeit von Quantenzuständen ist eine entscheidende Hürde, die man auf dem Weg zu einem funktionsfähigen Quantencomputer überwinden muss.

Fehlerkorrektur und topologische Materialien

Für den Umgang mit den nahezu unvermeidlichen Störungen, denen die empfindlichen Systemzustände eines Quantencomputers ausgesetzt sind, gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Unumgänglich ist zunächst eine sehr gute Abschirmung vor entsprechenden Störeinflüssen. Dies bedeutet beispielsweise, es kommen sehr reine Materialien zum Einsatz, außerdem werden die elektronischen Strukturen sehr präzise lithographisch gefertigt und selektiert und schließlich wird darauf geachtet, dass keine elektromagnetischen Störfelder anderer Komponenten einwirken können.

Dadurch können Störungen minimiert, aber nicht gänzlich ausgeschaltet werden. Für die verbleibenden Fehler wurden dann sogenannte fehlerkorrigierende Codes entwickelt. Die Idee besteht darin, dass die Quanteninformation mehrfach abgespeichert wird – man erhält sozusagen eine Redundanz der Information. Diese erlaubt es, den Quantenzustand zu korrigieren, solange nur einzelne „Kopien“ einen Fehler aufweisen. Es ist allerdings derzeit unbekannt, wie man in der Praxis eine genügend hohe Redundanz erreichen, und gleichzeitig alle einzelnen Schaltkreiselemente problemfrei ansteuern kann.

Ein dazu alternativer Ansatz basiert auf der Entwicklung einer Quanten-Hardware, deren Design von vornherein eine sehr niedrige Fehlerrate aufweist. Aussichtsreiche Kandidaten hierfür sind sogenannte topologische Materialien. Dabei handelt es sich um Materialien, die eine globale Eigenschaft aufweisen, die bestehen bleibt, selbst wenn kleine, kontinuierliche Störungen vorhanden sind. Zur Veranschaulichung betrachte man ein Möbiusband (siehe Bild 2). Dieses in sich geschlossene Band hat eine Verknötung – der Knoten kann aber durch einfaches Drehen oder Verformen des Bandes nicht gelöst werden. Quantenzustände die eine vergleichbare Eigenschaft aufweisen, bezeichnet man als topologisch geschützt.

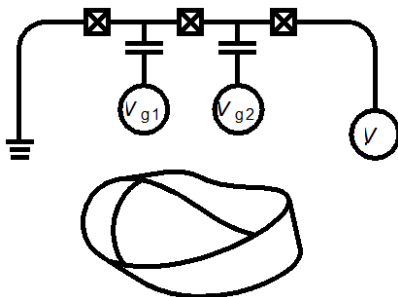


Bild 2: Schema eines Quantenschaltkreises (oben) und Möbiusband (unten).
(Quelle: Riwar/FZ Jülich)

Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Herstellung solcher Materialien ebenfalls eine hohe technische Herausforderung darstellt. Und selbst bei den bislang erreichten vereinzelt experimentellen Erfolgen stellt sich die Frage, wie sich die Topologie in genügendem Maße kontrollieren lässt, um sie in einen Quantencomputer zu integrieren. Das vorliegende Projekt will demonstrieren, dass in elektrischen Schaltkreisen topologische Ströme fließen können, auch wenn die Materialien selbst keine intrinsischen topologischen Eigenschaften aufweisen. Mit solchen Schaltkreisen könnten geschützte Quantenzustände für eine praktische Verwendung in künftigen Quantencomputern erschlossen werden.