

## Projekt

## Topologische Quantum-Bit-Schaltkreise basierend auf Majorana-Moden (MajoranaChips)

Koordinator:	Dr. Peter Schüffelgen Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich Tel.: +49 2461 61-85250 E-Mail: p.schueffelgen@fz-juelich.de
Projektvolumen:	4,99 Mio. € (Förderquote 100%)
Projektlaufzeit:	01.03.2020 – 28.02.2025
Projektpartner:	➔ Forschungszentrum Jülich GmbH – Peter Grünberg Institut, Jülich

## 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)

## Quantencomputer – Eine Revolution des Rechnens

Der Einsatz von Quantentechnologien verspricht in vielen Anwendungen des Informationszeitalters große Fortschritte, da mit den Wirkprinzipien der Quantenmechanik völlig neue Funktionen bereitstehen. Ein exponiertes Beispiel dafür ist eine vollständig neue Klasse von Computern durch das Rechnen mit sogenannten Quantenbits. Dies bedeutet eine Überwindung der klassischen Datenverarbeitung und, damit verbunden, eine extreme Beschleunigung von Berechnungen z. B. für die schnelle Suche in riesigen Datenmengen oder die bestmögliche Steuerung von Verkehrssystemen.

Wichtig für solche Quantencomputer ist die Basistechnologie für die Quantenbits. Insbesondere die Robustheit der fragilen Quantenzustände als auch die einfache Möglichkeit ihrer Überlagerung sind für eine nutzbare Basistechnologie von großer Bedeutung.

Hier setzt das vorliegende Projekt an. Es sollen gezielt elektronische Bauteile erforscht werden, die aufgrund besonderer physikalischer Eigenschaften die genannten Anforderungen potenziell gut erfüllen können. Die frühe Realisierung solcher Bauteile kann Deutschland einen internationalen Wettbewerbsvorteil bringen, der direkt mit einem wirtschaftlichen Nutzen verknüpft ist. Ein mit Auslese- und Steuerelektronik ausgestatteter Chip kann als Exportprodukt weltweit in kommerziell erhältlichen Kryostaten betrieben werden und so als Quantencomputer fungieren. Alternativ sind deutsche Quantum-Cloudservices auf Basis der Technologie denkbar.

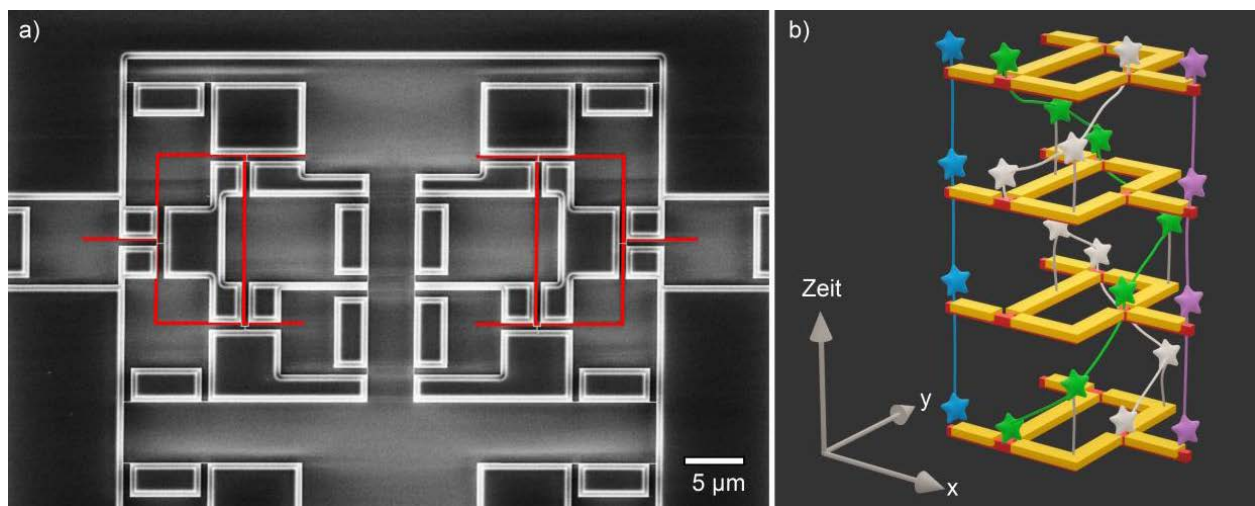


Bild 2: Herstellung und Funktionsprinzip eines Quantenchips basierend auf topologischen Isolatoren:

- Der topologische Isolator (rot eingefärbt) wurde bereits selektiv abgeschieden.
- So genannte Majorana Moden (dargestellt als Sterne) werden entlang der topologischen Leiterbahnen verschoben um so geschützte Quantenrechenoperationen zu ermöglichen.

(Quelle: Forschungszentrum Jülich GmbH)

## Robuste Quantenschaltkreise basierend auf Majorana-Moden

Inhalt des Forschungsprojekts ist es, Chipbauteile für das Rechnen mit Quantenzuständen zu erforschen und zu demonstrieren. Der Ansatz besteht darin, aus Netzwerken von sogenannten topologischen Isolatoren und supraleitenden Strukturen besonders robuste Quantenbits basierend auf Majorana-Moden herzustellen. Topologische Isolatoren sind Materialien, die sich in ihrem Inneren elektrisch isolierend, auf der Außenseite allerdings leitend verhalten. Obwohl das Prinzip sehr grundlegend ist und experimentell noch nicht verifiziert wurde, versprechen Quanten-Prozessoren auf Basis solcher topologischer Strukturen eine sehr viel geringere Fehlerrate als konventionelle (nicht topologische) Quanten-Prozessoren, was die Realisierung funktionaler Quantencomputer wesentlich beschleunigen würde.

Die zu Grunde liegende Herstelltechnologie ermöglicht, komplexe strukturelle Netzwerke via Molekularstrahlepitaxie und unter Ultrahochvakuumbedingungen zu fertigen und für weitere Fertigungsschritte (außerhalb des Vakuums) zu konservieren.