

## Projekt

## Versatile Trapped Ion Control System (VERTICONS)

Koordinator:

Stefan Ulm  
AKKA Industry Consulting GmbH  
Magirus-Deutz-Str. 2  
89077 Ulm  
Tel.: 0731 140478-0  
E-Mail: stefan.ulm@akka.eu

Projektvolumen:

700.000 € (Förderquote 78,1%)

Projektlaufzeit:

01.11.2018 – 30.04.2022

Projektpartner:

- ➔ AKKA Industry Consulting GmbH
- ➔ Institut für Physik, Universität Mainz
- ➔ Universität des Saarlandes
- ➔ Forschungszentrum Jülich

## Die technische Grundlage für die Erschließung quantenphysikalischer Anwendungen

Die Erforschung neuer Quantentechnologien erfährt derzeit weltweit einen beträchtlichen Aufschwung. Dieser wird vor allem von den Erwartungen an die Leistungsfähigkeit des Quantencomputers gestützt. Doch auch andere Quantentechnologien versprechen erhebliche Fortschritte in den Bereichen Messtechnik, Sensorik, Medizintechnik oder Biotechnologie.

Die vielversprechendsten Anwendungen der Quantentechnologien sind jedoch kurzfristig nicht praktisch umzusetzen. Es fehlt hierfür die erforderliche Gerätetechnik, die in großen Teilen erst entwickelt werden muss. Die genutzten Quantenphänomene reagieren sehr empfindlich auf äußere Einflüsse und sind daher sehr kurzlebig. Ihre Bereitstellung und Kontrolle ist mit einem beträchtlichen apparativen Aufwand verbunden. Selbst dort, wo man bereits grundlegende Funktionen nachweisen konnte, ist die technische Beherrschung der Quantensysteme noch viel zu kostspielig und zu wenig robust für eine praktische Nutzung. Es gilt daher, in enger Zusammenarbeit zwischen den Herstellern der technischen Ausrüstungen und den Forschern in den Labors neue Geräte für den Einsatz in den Quantentechnologien zu entwickeln. Stabile und kostengünstige Systeme sollen die Aussichten auf eine erfolgreiche wirtschaftliche Nutzung der Quanteneffekte erheblich verbessern. Eine wesentliche Zielstellung der geförderten Projekte liegt darin, einheimische Unternehmen dabei zu unterstützen, sich als weltweit führende Ausrüster für Forschung und Entwicklung zu etablieren.



Bild 1: Die apparative Beherrschung von Quantenphänomenen für neue Anwendungen ist derzeit noch sehr kostenintensiv und benötigt hochqualifiziertes Personal. (Quelle: iStock.com/ Maartje van Caspel)

## Steuerelektronik für Quantencomputer

Die technischen Plattformen für Quantencomputer unterscheiden sich im Hinblick auf ihre physikalischen Grundelemente sehr stark. Es gibt Konzepte für supraleitende Schaltkreise, künstliche Atome in Festkörpersubstraten und lasergekühlte Ionen oder Atome in miniaturisierten Fallen. Für den Sprung vom Forschungslabor zur Anwendbarkeit müssen diese Konzepte auf ein solides technisches Fundament gestellt werden. Dazu wiederum müssen insbesondere die „klassischen“ Technologiekomponenten, die ebenfalls Bestandteil aller dieser Quanten-Plattformen sind, Eigenschaften aufweisen, die industrielle Voraussetzungen erfüllen: Bedienbarkeit, Erweiterungsmöglichkeiten, Dokumentation, Leistungsfähigkeit und geringer Wartungsaufwand. Dies betrifft insbesondere die Kontroll- und Steuerelektronik, die für die Funktion aller dieser Quantenbauelemente erforderlich ist. Sämtliche Anwendungen und Plattformen für Quantentechnologie benötigen immer auch leistungsfähige Kontrolleinheiten, d. h. Hard- und Software, welche die komplexen Abläufe von verschiedensten Kontrolloperationen und Messungen auf den erforderlichen sehr kurzen Zeitskalen präzise steuert. Bislang wird auch diese technische Peripherie von den Forschern überwiegend selbst entworfen und aufgebaut. Es entsteht in den verschiedenen Labors eine Vielzahl an Einzelstücken, die jeweils den Anforderungen des konkreten experimentellen Aufbaus genügen, jedoch nicht ohne weiteres für andere Versuchsanordnungen verwendbar sind. Standards existieren noch nicht, Know-how wird nur begrenzt weitergegeben.

## Einheitliche Kontrollarchitektur für verschiedene Hardware-Plattformen

Das angestrebte Hauptziel des Projekts ist die Bereitstellung einer vollständigen, zusammenhängenden, dokumentierten und getesteten Quantenkontrollarchitektur. Dazu gehören ein flexibles Echtzeitkontrollsystem und das entsprechende Softwaredesign für automatisierte Kontrollstrategien. Die Kontrollarchitektur soll für Bewegungs-, Gatter- und Ausleseoperationen an Multi-Qubit-Registern auf Basis gefangener Ionen überprüft werden; die Tests sollen anhand konkreter Anwendungen aus der Forschung erfolgen. Die Innovation soll hier insbesondere in der experimentellen Realisierung von adaptiven Kontrollsequenzen bestehen, d. h. Messungen während der Sequenz sollen wiederum die Kontrollabfolge beeinflussen. Die Kontrolle soll sowohl Gatter- als auch Bewegungsoperationen einschließen und muss in Echtzeit erfolgen, mit Reaktionszeiten im Mikrosekundenbereich oder darunter.

Das Erreichen eben dieser kurzen Reaktionszeiten stellt eine besondere technische Herausforderung dar – die Wartezeit zwischen Messungen und der Rückwirkung auf das System muss einerseits definiert, andererseits möglichst gering sein. Genau dies macht den Einsatz von moderner hochintegrierter Elektronik (sog. System-on-Chip) unabdingbar und erfordert auch die Entwicklung von speziellen Datenformaten und Kommunikationsprotokollen.

Die Verwertung soll neben der wissenschaftlichen Nutzung primär in der direkten Vermarktung des resultierenden Systems bestehen.

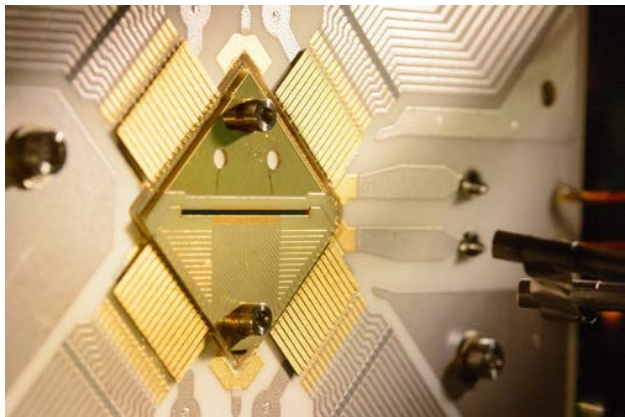


Bild 2: Ionenfalle der Universität Mainz. In dem etwa einen halben Millimeter breiten Spalt können durch geeignete elektromagnetische Felder bis zu fünf Ionen nebeneinander aufgereiht und für Quantenoperationen manipuliert werden. Um Störeinflüsse zu minimieren, befindet sich die Anordnung in einem Ultrahochvakuum von etwa einem Billionstel Millibar. (Quelle: Universität Mainz)