

# AQTION – ADRESSIEROPTIK FÜR QUANTENCOMPUTER

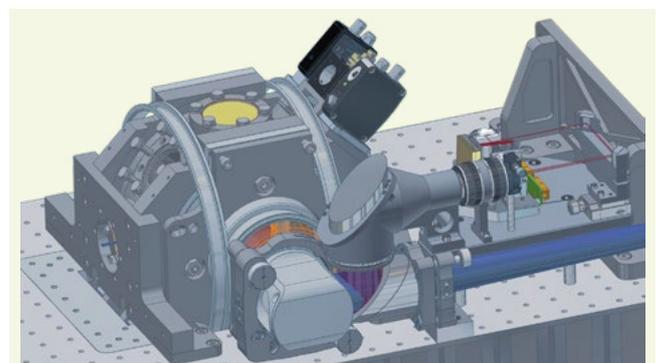
## AQTION – ADDRESSING OPTICS FOR A QUANTUM COMPUTER

Im Projekt »Advanced quantum computing with trapped ions« (AQTION), einem Bestandteil des Quanten-Flaggschiffprogramms der EU, wird ein skalierbarer Quantencomputer realisiert. Dieser wird an der Universität Innsbruck, dem Konsortialführer des AQTION-Verbunds, aufgebaut. In diesem Quantenrechner werden die Quantenbits durch in einer Ionenfalle gefangene  $\text{Ca}^+$ -Ionen repräsentiert. Zur Präparation der Quantenzustände und zur Bewerkstelligung der Rechenoperationen auf dem Quantengatter wird Laserlicht verschiedener Wellenlängen eingesetzt. Dazu werden u. a. Einzelionen mit einem Adressierstrahl mit der Wellenlänge 729 nm beleuchtet (Abb. 3). Das Ergebnis der Rechenoperationen wird anhand des Zustands der Ionen, die in der Falle als lineare Kette angeordnet sind, »ausgelesen«. Der Zustand des Ions zum Zeitpunkt der Messung ergibt sich daraus, ob bei dieser ein Fluoreszenzsignal erzeugt wird oder nicht.

Für die zuverlässige Adressierung der Ionen, die in der Fallenmitte einen Abstand von etwa  $3 \mu\text{m}$  haben, sind beugungsbegrenzte Spots der Adressierstrahlen notwendig, die zudem in der Richtung der Fallenachse mit Submikrometernauigkeit nachführbar sein müssen. Dazu wurde eine opto-mechanische Einheit entwickelt, bei der in einer Anordnung von Festkörpergelenken Piezosteller Mikrop Prismen bewegen (Abb. 1 rechts). Damit wird aus einer starren Anordnung von eingangsseitigen Fasern eine dynamisch regelbare

The goal of the "Advanced Quantum Computing with Trapped Ions" (AQTION) project – part of the EU Quantum Flagship Initiative – is to realize a scalable quantum computer. This computer will be assembled at the University of Innsbruck (UIBK), which leads the AQTION consortium.

Within the AQTION quantum computer, the quantum bits (Qbits) are represented by  $\text{Ca}^+$ -ions, which are confined within a Paul trap. In order to prepare the quantum states and execute calculations at the quantum gate, different laser wavelengths are used. This includes to illuminate single ions with a laser spot of a wavelength of 729 nm (Fig. 3). The result of the calculations is "read out" from the status of the ions that are arranged in a linear chain within the trap.

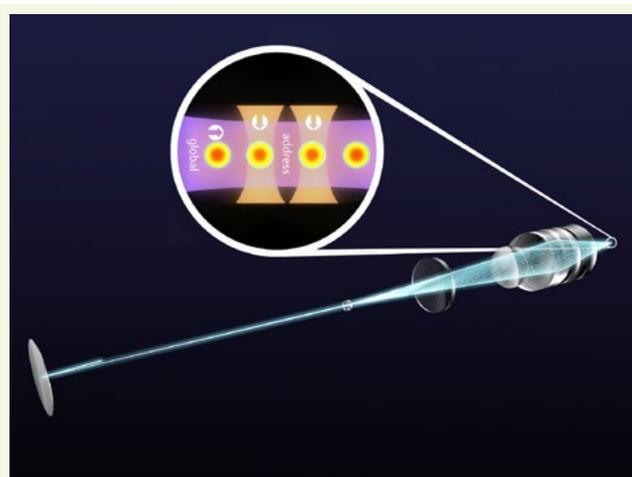


2 **Konstruktionszeichnung 19"-Rack mit Ionenfalle und gefalteter Adressieroptik.** | Design of 19" rack with ion-trap and folded addressing optics.

1 **Labora Aufbau und Detailaufnahme von Adressieroptik.** | Laboratory setup and detailed view of addressing optics.

Anordnung von Quellen. Die weitere Optik sorgt einerseits für die notwendige Verkleinerung der eingangsseitigen Quellabstände auf den Ionenabstand und andererseits für die notwendigen Spotgrößen in der Fallenebene. Neben einem Spezialobjektiv, das für die Wellenlängen des Adressierstrahls und der Fluoreszenzdetektion korrigiert ist, kommen Gradientenindexlinsen sowie Achromate zum Einsatz.

Um die Optik (Abb. 3) kompakt gestalten und in den Gesamtaufbau integrieren zu können, muss der optische Weg mehrfach gefaltet werden (Abb. 1 (links) bzw. Abb. 2). Um einen – für das als Patentanmeldung eingereichte Funktionsprinzip notwendigen – Parabolspiegel mit optimaler Brennweite verwenden zu können, wird dieser derzeit mittels UP-Bearbeitung am Fraunhofer IOF gefertigt.



3 Ionenanordnung und Strahlrichtungen in der Fallenebene, Optikaufbau der Adressiereinheit. | Ion arrangement and beam directions in the trap-plane, and addressing unit optics.

The status of the ion at the time of the measurement becomes apparent by checking whether a fluorescence signal is emitted or not.

Reliable addressing of the ions that are spaced by 3 microns approximately in the center of the trap requires diffraction-limited spots, on one hand, and on the other a means of tracking the spots along the trap axis with sub-micron accuracy. To this end, a particular optomechanical unit was developed where in a special solid-state-joint configuration piezo-actuators induce a linear movement of micro-prisms, Fig. 1 (right). The optomechanical unit transforms the fixed array of input-fibers in a dynamically adjustable arrangement of sources. The additional optics ensure the demagnification of the source distances at the input down to the ion distances, as well as the appropriate spot sizes in the plane of the trap. In addition to a special objective, which is corrected for the wavelengths of the addressing beam and the fluorescence detection, gradient index and achromatic lenses are used. For the overall optical setup (Fig. 3), a multiple folding of the beam path (Fig. 1 (left) and Fig. 2) is required to ensure the potential for integration. To have the optimum focal length of the parabolic mirror – an essential component for the device principle (patent pending) – this mirror is now under construction by ultra-precision machining at Fraunhofer IOF.

#### AUTHORS

Bernd Höfer  
Felix Kraze  
Peter Schreiber  
Christoph Wächter  
Uwe Detlef Zeitner

#### CONTACT

Dr. Christoph Wächter  
Phone: +49 3641 807 419  
christoph.waechter@iof.fraunhofer.de