

## PRESIDENT'S SELECTION

Newsletter des ETH-Präsidenten

www.ethz.ch

## QUANTUM ENGINEERING

## In der Werkstatt der Zukunft

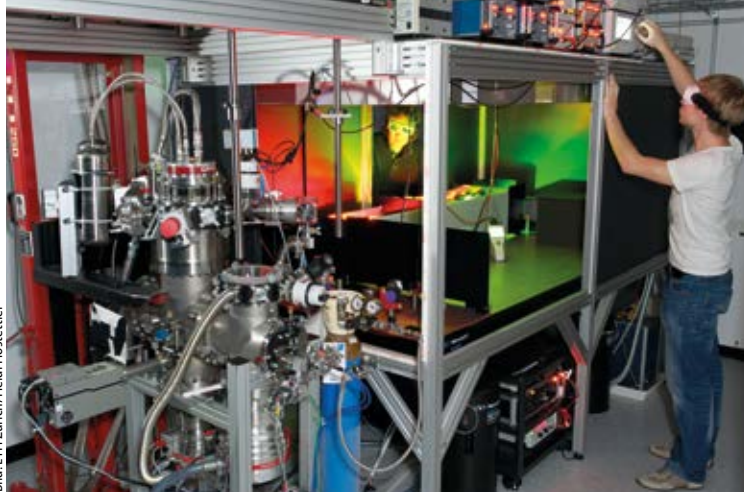


Bild: ETH Zürich/Heidi Hostettler

Experimente in der Nanowelt erfordern sehr tiefe Temperaturen und aufwändige elektronische Messtechnik: Blick ins Labor von Professor Andreas Wallraff

Einfache Quantencomputer existieren bereits. Nun braucht es den Einbezug der Ingenieure, um leistungsfähigere Quantencomputer zu bauen und den Traum vom Computer der Zukunft Realität werden zu lassen.

«Die Quantentechnologie wird kommen. Das ist klar.» Klaus Ensslin, ETH-Professor für Physik, lässt da keinen Zweifel aufkommen. Auch seine Kollegen Lukas Novotny und Andreas Wallraff sprechen von einer «technischen Notwendigkeit». Woher kommt die Überzeugung? Die heutige Elektronik wird immer kleiner, schneller, billiger. Immer grössere Mengen an Informationen können auf immer kleinerem Raum gespeichert und verarbeitet werden. Computerchips zum Beispiel arbeiten heute im Nanometerbereich, im Millionstel Millimeterbereich. Diese Welt des Kleinsten ist bereits relativ gut erforscht. Doch nun stossen die Ingenieure immer öfter an Grenzen. Daher muss es noch einen Stock tiefer gehen. In die Welt des Allerkleinsten, in die Quantenwelt. Hier gelten die klassischen Gesetze der Physik nicht mehr. Hier kann ein Körper beispielsweise an zwei Orten gleichzeitig sein.

Um diese Welt untersuchen zu können, braucht es neue Werkzeuge. Mit einem herkömmlichen Hammer und Schraubenzieher kommt man hier nicht weit. Und es braucht sehr tiefe Temperaturen. Diese erreicht Ensslins Team, das an neuartigen Halbleiter-Strukturen forscht, mit einem

Spezialkühlschrank, der Temperaturen von beinahe dem absoluten Nullpunkt erreicht. Weiter braucht es für die Experimente eine aufwändige elektronische Messtechnik und Bauteile, die man nicht im Supermarkt kaufen kann. «Vieles davon müssen wir selbst zusammenbauen», so Ensslin. Was jedoch weiterhin gefragt ist, ist Teamarbeit. Es braucht die Zusammenarbeit von Physikern, Mathematikern und Ingenieuren, um das grosse Ziel, die Quantentechnologie voranzubringen, zu erreichen.

Die ETH, und darüber hinaus die ganze Schweiz, bieten eine aussergewöhnliche Ansammlung an Forschungsgruppen, die verschiedenste Quantensysteme untersuchen. Aus praktisch jedem Spezialbereich der Quantenphysik gibt es hierzulande eine international renommierte Forschungsgruppe. «Die Schweiz investiert viel in diesem Bereich, auch im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunktes QSIT. Aber das ist auch wichtig, denn die Konkurrenz schläft nicht», so Ensslin. Singapur, Holland, die USA, sie alle haben für die Erforschung der neuen Welt Hunderte

### «Für grössere Quantencomputer braucht es einen verstärkten Einbezug der Ingenieure»

Professor Andreas Wallraff

von Forschungsmillionen bereitgestellt. Daneben investieren auch grosse Firmen wie IBM oder Google intensiv in dieser Richtung.

Aber in welcher Richtung genau? Welche Produkte wird die Werkstatt der Zukunft anfertigen? Viele träumen von einem Quantencomputer, der dem heutigen Computer um Längen voraus wäre. Daran forscht auch das Team von Andreas Wallraff, Physikprofessor an der ETH. Er entwickelt supraleitende, elektrische Schaltungen – also die

Fortsetzung auf Seite 2

## EDITORIAL

## Vorne dabei

Liebe Leserin, lieber Leser



Zürich ist eine der Brutstätten der Quantenmechanik. Albert Einstein, Walter Heitler, Erwin Schrödinger, und Wolfgang Pauli: Sie alle

haben hier an der ETH und der Universität vor über hundert Jahren gelehrt und geforscht. Heute ist die Theorie mehrfach bestätigt, und sie findet Anwendungen in der Informationsverarbeitung und -übertragung. Das Potenzial ist jedoch noch lange nicht ausgeschöpft. Quantensensoren mit ultimativer Empfindlichkeit, Quantenkryptographie und Quantencomputer stecken noch in den Kinderschuhen. Die ETH Zürich ist in all diesen Gebieten vorne dabei – mit Forschenden in den Departementen Physik, Informationstechnologie und Elektrotechnik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik sowie Informatik. Zusammen mit dem Forschungszentrum der IBM betreibt die ETH in Rüschlikon das Binnig and Rohrer Center for Nanotechnology, und sie ist bereit für weitere Kooperationen. Lassen wir uns überraschen, was die Zukunft bringen wird.

R. Eichler

Prof. Ralph Eichler,  
Präsident der ETH Zürich

## DAS ZITAT

«Die Quantenphysik revolutioniert die Verschlüsselung von Daten»

Prof. Dr. Renato Renner,  
Institut für Theoretische Physik, ETH Zürich

## IN DER WERKSTATT DER ZUKUNFT

## NACHGEFRAGT

## Glaskügelchen in der Nanowelt

**Professor Novotny, Sie versuchen, mit Ihren Experimenten in die Quantenwelt, in die Welt des Allerkleinsten, vorzudringen. Wie gehen Sie dabei vor?**

Wir möchten ein Glaskügelchen derart stark abkühlen, bis wir mit dem Kügelchen in den Spielbereich der Quantenmechanik kommen. Ein Vergleich hilft: Das Glaskügelchen entspricht einem Snowboarder, der sich in der Halfpipe hin und her bewegt. Gäbe es keinen Reibungsverlust, würde er ewig hin- und herschaukeln. Wir versuchen nun, die Bewegung des Snowboarders immer mehr einzuschränken, indem wir zum richtigen Zeitpunkt einen Gegenimpuls geben. Die Schwingung wird kleiner und kleiner. Auf diese Weise können wir die Temperatur stark reduzieren, fast gegen den absoluten Nullpunkt. Dann gelten für den Snowboarder, alias das Glaskügelchen, nicht mehr die Gesetze der makroskopischen, von Auge sichtbaren Welt, sondern die Gesetze der Quantenmechanik.

**Was bedeutet das?**

Zum Beispiel, dass das Kügelchen an zwei Orten gleichzeitig sein kann. Nur durch eine Messung materialisiert es sich an einem bestimmten Ort. Es wäre das erste Mal, dass ein von Auge sichtbarer Körper so reagieren würde. Ich hoffe, dass wir in fünf Jahren in der Lage sind, die tiefe Temperatur zu erreichen, die wir dafür benötigen. Noch gibt es einige technische Hindernisse.



Lukas Novotny, Professor für Photonik am Departement Informationstechnologie und Elektrotechnik

**Was könnte man aus einem solchen Experiment ableiten?**

Zum Beispiel könnten wir untersuchen, wie der Übergang von der makroskopischen Welt in die Quantenwelt funktioniert. Dann könnte man ein solches System auch nutzen, um damit Informationen zu speichern. Das wäre allenfalls ein wichtiges Puzzleteil zur Konstruktion eines Quantencomputers.

**Was fasziniert Sie an der Nanowelt?**

Es ist eine Zwischenwelt zwischen makroskopischer und atomarer Welt, die bis vor 20 Jahren noch ziemlich unerforscht war. Damals wie heute gibt es viele spannende Fragen darüber zu beantworten, welche Gesetze in dieser Welt gelten. Und es gibt eine technische Notwendigkeit hier zu forschen, denn die Entwicklung geht immer mehr in Richtung Nanowelt, es findet eine Skalierung nach unten statt – denken sie nur an heutige Computerchips. Diese arbeiten heute im Nanobereich. Um diese weiterzuentwickeln, müssen wir in diesen Bereich vordringen.

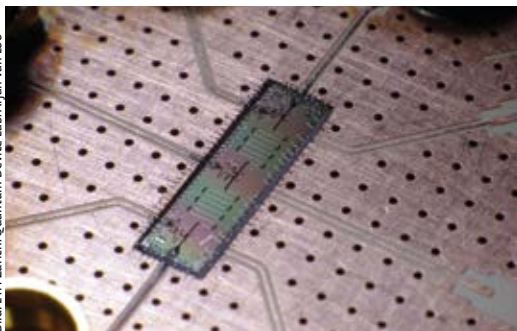


Bild: ETH Zürich/Quantum Device Lab/Afjan van Looy

Immer kleinere Chips: Supraleitende, elektrische Schaltungen sind die künftigen Bauelemente der Quantencomputer

Fortsetzung von Seite 1

künftigen Bauelemente der Quantencomputer. Auf diesen Elementen können Informationen gespeichert, verarbeitet und wieder abgerufen werden. «Einfache Quantencomputer existieren bereits», sagt Wallraff. Sie sind den herkömmlichen Computern aber noch unterlegen. «Was es braucht, um grössere Quantencomputer zu bauen, ist ein verstärkter Einbezug der Ingenieure.» An der ETH soll dazu ein entsprechendes Zentrum gegründet werden, um diese technologischen Herausforderungen zu meistern.

**«Meistens entwickeln sich Anwendungen in eine Richtung, die niemand vorhergesehen hat.»**

Professor Klaus Ensslin

Aber geht es nur um Quantencomputer? «Ich sehe noch viele weitere Bereiche, die von der Quantentechnologie profitieren könnten», sagt Ensslin. Als vor über 50 Jahren der erste Transistor entwickelt wurde, konnte sich auch niemand vorstellen, dass dieses Bauteilchen einst den Computer ermöglichen würde. Am Ende wird es vielleicht so sein wie beim CERN: Dort suchten Hunderte von Forschern nach dem Higgs-Teilchen und erfanden dabei das Internet. «Meistens entwickeln sich Anwendungen in eine Richtung, die niemand vorhergesehen hat», so Ensslin. Andreas Wallraff und sein Team forschen zum Beispiel auch an einem Quanten-Verstärker mit einer – gegenüber herkömmlichen Verstärkern – einhundertmal besseren Rauschunterdrückung. Diese neuartigen Verstärker könnten vielfältig eingesetzt werden. Aber wo genau, ist im Moment kaum zu beantworten: Mobiltelefonie, Radar, Radioteleskope?

Noch ist es aber nicht soweit. Im Moment kämpfen die Quantenforscher vor allem mit technischen Herausforderungen, mit genügend tiefen Temperaturen, aber auch mit der Komplexität der Quantensysteme. In Zukunft wird es darum gehen, nicht nur einzelne Quantensysteme, sondern viele gekoppelte System zu realisieren und zu kontrollieren, um damit möglicherweise völlig neue Zustände der Materie zu finden.

## KURZ PRÄSENTIERT

## Eine Plattform für die Quantentechnologiem

Der Nationale Forschungsschwerpunkt QSIT verbindet die Schweizer Quantentechnologielabors und versucht auf diese Weise, neue Methoden und Bauteile zu erforschen und zu entwickeln, die auf den Gesetzen der Quantenmechanik basieren. In QSIT arbeiten insgesamt 32 Forschungsgruppen mit unterschiedlichen, experimentellen Ansätzen, aber mit dem gemeinsamen Ziel, die Quantentechnologie voranzubringen. Die ETH Zürich und die Universität Basel sind federführend, beteiligt sind weiter die Universität Genf, die Universität Lugano, das IBM Forschungslabor in Rüschlikon sowie die EPF Lausanne. Das Programm wurde im Jahre 2011 gestartet und wird vom Schweizerischen Nationalfonds mit einem jährlichen Budget von etwa CHF 4,5 Millionen finanziert.

## Quantensprünge dank Partnerschaften

Die ETH Zürich ist im Bereich der Quantenwissenschaft bereits gut aufgestellt. Die Zeit wäre reif, das Quantum Engineering zu einem Zentrum auszubauen. Ein erster Schritt unternimmt die ETH zurzeit mit dem Aufbau einer neuen Professur in diesem Bereich. Partnerschaften mit der Industrie können zusätzlich Schub verleihen.

## SCHLUSSPUNKT



Bild: ETH Zürich

Personen zu beamen wie in «Star Trek» bleibt vermutlich eine reine Vision. Quantenphysiker inspiriert sie gleichwohl zu neuen Technologien.