



Jan Greune / LMU

# Quanten im Zentrum

**Das Munich Center for Quantum Science and Technology möchte die Quantenwissenschaften in ihrer gesamten Breite erforschen und anwenden.**

**Maike Pfalz**

Längst haben Quantentechnologien unseren Alltag erobert: Computer, Smartphones, der Laser oder Methoden der medizinischen Diagnostik beruhen auf Erkenntnissen der Quantenmechanik. Auch die Informationswissenschaft hat unsere moderne Welt revolutioniert, indem sie die Basis für die Informationsverarbeitung und die Kommunikation im digitalen Zeitalter geliefert hat. Die nächste Revolution besteht darin, beide Gebiete zu vereinen. Die Quanteninformationstheorie ist in der Lage, unsere physikalische Welt zu beschreiben. Mit Fragen der Quantenwissenschaften in all ihrer Breite beschäftigt sich der Exzellenzcluster „Munich Center for Quantum Science and Technology“ (MCQST), der im Zuge der Exzellenzstrategie seit Anfang 2019 gefördert wird.

Der Cluster gliedert sich in sieben Forschungsbereiche: Quanteninformationstheorie, -simulation, -computing, -kommunikation, Quantenmetrologie und -sensorik, Quantenmaterie sowie explorative Themen. „Kein Standort deckt diese ganze Bandbreite in höchster Expertise so ab wie

München“, ist Immanuel Bloch, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik und einer der drei Sprecher des Clusters, überzeugt. Eines der Hauptziele des Clusters ist es, München noch sichtbarer zu machen und mit dem MCQST ein weltweit führendes Zentrum der Quantentechnologien aufzubauen, das wichtige wissenschaftliche wie auch technologische Fragen behandelt.

Das MCQST vernetzt mehr als 50 Forschungsgruppen und über 300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in München, die in den unterschiedlichen Bereichen der Quantentechnologien tätig sind. Die interdisziplinäre Forschung erstreckt sich über Physik, Mathematik, Ingenieurwissenschaften, Informatik, Materialwissenschaften und Chemie bis hin zur Kosmologie und deckt die gesamte Breite von der Grundlagenforschung über Technologie- und Materialentwicklung bis hin zu den Anwendungen ab. Ziel dabei ist es, quantenmechanische Phänomene grundlegend zu verstehen, um neuartige Quantenmaterialien, leistungsfähige Quanteninformationssysteme oder Tech-

◀ Die Quantensimulation ist einer der Forschungsbereiche des Munich Center for Quantum Science and Technology. Cluster-Sprecher Immanuel Bloch leitet diesen Bereich und möchte die Systeme weiter vergrößern, programmierbar machen und auf neue Probleme anwenden.

niken zur präzisen Steuerung und Kontrolle von Quantensystemen zu entwickeln.

Jeder der sieben Forschungsbereiche verfolgt eigene Ziele. Für die Quanteninformationstheorie ist Ignacio Cirac vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik verantwortlich, der ebenfalls zu den Sprechern des Clusters gehört. Seine Arbeiten verfolgen das Ziel, die Entwicklungen aus Quantenmechanik und Informationswissenschaften zu verbinden und die Konzepte auf andere Bereiche zu übertragen. So werden beispielsweise Algorithmen aus der Quanteninformationstheorie bereits sehr erfolgreich angewandt auf Materiephasen in der Festkörperphysik. Aber offen ist, ob sich damit auch Phänomene in der Hochenergiephysik oder Kosmologie besser simulieren lassen. „Die Frage ist, wie wir mit den Prinzipien der Quanteninformation neues Verständnis über fundamentale physikalische Phänomene erlangen können, um diese besser zu kontrollieren und damit technisch nutzbar zu machen“, erläutert Immanuel Bloch.

Der Bereich Quantensimulation zielt darauf ab, Quantensimulatoren aufzubauen, um damit fundamentale Wechselwirkungen zu studieren und Systeme zu erforschen, die mit klassischen Rechnern nicht behandelbar sind. Die entsprechenden Systeme sollen dafür immer größer, programmierbarer und leistungsfähiger werden. Systemgrößen von tausend bis zehntausend Teilchen sind laut Bloch das Ziel innerhalb der nächsten Jahre.

Beim Quantencomputing geht es im Cluster insbesondere darum, begleitend zu den industriellen Entwicklungen Grundlagenforschung zu betreiben. „So hat es beispielsweise das Walter Schottky Institut für die Halbleitertechnologie gemacht“, führt Cluster-Sprecher Rudolf Gross vom Walther-Meißner-Institut aus. „Dort wurde niemals ein Großrechner gebaut oder hochintelligenter Chip hergestellt. Aber das

Institut hat wichtige technologische Weiterentwicklungen geleistet, welche die Firmen in ihren Systemen übernommen haben.“

Für die Quantenkommunikation ist es unter anderem erforderlich, Verschlüsselungsverfahren oder Repeater zu entwickeln und ein Quantennetzwerk aufzubauen. Derzeit zielt ein Projekt am Walther-Meißner-Institut darauf ab, das erste Quantum-LAN aufzubauen, um damit Quantenrechner zu vernetzen. Industriepartner ist hierbei die britische Firma Oxford Instruments, welche die erforderliche Kryotechnik zur Verfügung stellt.

In der Quantenmetrologie gilt es, neue Möglichkeiten zur Frequenz- und Gravitationsmessung zu entwickeln, die eine viel bessere Genauigkeit und Auflösung bieten als klassische Sensoren. Die neuen Quantensensoren könnten beispielsweise in der Lage sein, in Festkörpersystemen oder lebenden Zellen magnetische und elektrische Felder auf der Nanoskala zu messen.

### Gut vernetzt

Anders als andere Exzellenzcluster investiert das MCQST die Fördersumme aus der Exzellenzstrategie weniger in neues Personal. „Wir haben in München ohnehin in nächster Zeit acht bis zehn Stellen in dem Bereich zu besetzen, daher haben wir keine neuen Professuren beantragt“, erläutert Immanuel Bloch. Stattdessen geht es darum, schneller neue Projekte anstoßen und Ideen aufgreifen zu können oder junge Leute mit Anschubfinanzierung zu unterstützen – insbesondere interdisziplinäre Projekte über verschiedene Forschungsbereiche hinweg.

Jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern stehen Start-Fellowships oder auch eine Überbrückungsfinanzierung beim Übergang in den Job oder in die Postdoc-Phase zur Verfügung. Außerdem gibt es spezielle Programme für Wissenschaftlerinnen. „Kürzlich war ich auf einer Veranstaltung, auf der wir mit Postdocs und Pro-

## Der Exzellenzcluster „MCQST“

### Beteiligte Institutionen:

Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, Technische Universität München (TUM), Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ), Walther-Meißner-Institut (WMI), Deutsches Museum (DM)

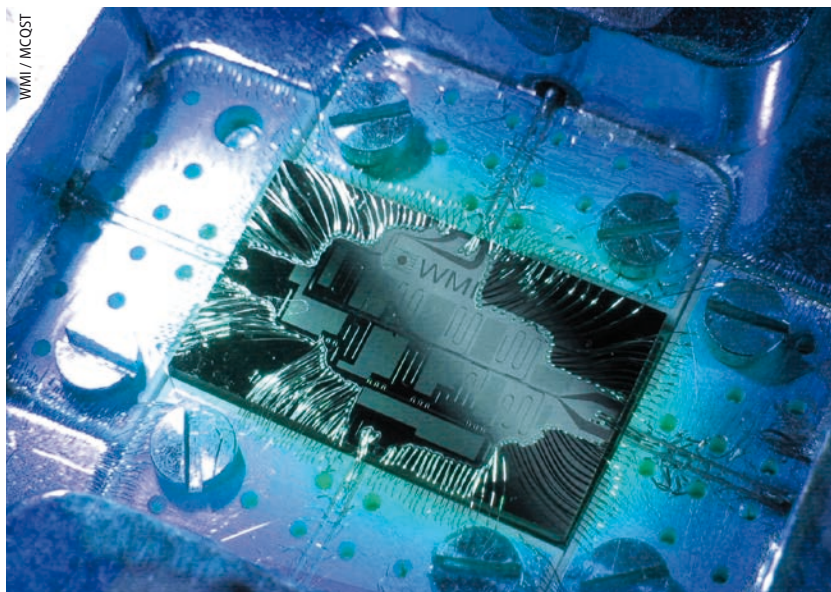


### Sprecher:

Prof. Dr. Immanuel Bloch, LMU und MPQ; Prof. Dr. Rudolf Gross, TUM und WMI; Prof. Dr. Ignacio Cirac, MPQ und TUM

### Forschungsfelder:

Quanteninformationstheorie, Quantensimulation, Quantencomputing, Quantenkommunikation, Quantenmetrologie und -sensorik, Quantenmaterie, Explorative Forschung



Ein Quantencomputer-Chip aus den Werkstätten des Walther-Meißner-Instituts mit mehreren vernetzten Quantenbits





Jan Greune / MPQ

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten in kleinen, internationalen Teams gemeinsam daran, die experimentellen Aufbauten stetig zu verbessern und leistungsfähiger zu machen.

movierenden, die bereits Kinder haben, zwei Stunden lang diskutiert haben, wie der Cluster sie unterstützen kann“, sagt Rudolf Gross. „Für mich war es sehr wichtig zu hören, wo konkret die Probleme liegen und welche Maßnahmen sinnvoll sind.“ Damit möchte der Cluster gezielt helfen, Familie und Karriere zu vereinbaren.

Daneben dient die Fördersumme dazu, die Infrastruktur zu verbessern – beispielsweise durch Anschaffung neuer Beschichtungsanlagen, um Quantenbits herzustellen, oder neuer Tieftemperatursysteme, um die Quantencomputer zu betreiben. Darüber hinaus entsteht derzeit an der TU München ein neues Forschungsgebäude „Center for Quantum Engineering“, dessen Baukosten von 40 Millionen Euro sich der Bund und der Freistaat Bayern teilen. Dieses Projekt zielt verstärkt darauf ab, die Erkenntnisse der Grundlagenforschung aus dem Cluster in Start-up-Firmen umzusetzen und konkrete Kollaborationen mit der Industrie aufzubauen.

Ein weiteres wichtiges Element ist ein exzellentes Vortragsprogramm, zu dem hochrangige Gäste nach München kommen. „Unsere Kolloquien dienen als wichtige Schnittstelle, um die Experten miteinander zu vernetzen und auch die Verbindung zur Industrie herzustellen“, sagt Immanuel Bloch. Der Cluster habe die Interaktion zwischen den einzelnen Forschungsgruppen in München deutlich verbessert. „Damit bündeln wir unsere Kräfte, um die besten Leute anzulocken“, ergänzt Rudolf Gross.

Auch das Quantum Flagship spielt eine wichtige Rolle. Die Forscherinnen und Forscher des MCQST sind an den meisten Flagship-Projekten beteiligt, an einigen sogar in führender Position. Das hilft vor allem, die Zusammenarbeit mit der Industrie zu stärken. „In diesen Projekten schauen wir insbesondere, was die Industrie an Forschungsarbeit leisten kann und wo wir Wissenschaftler gebraucht werden“, erläutert Immanuel Bloch. Dabei gehe es auch darum, neue Geschäftsfelder zu entwickeln. „Das Flagship

ist für Europa äußerst wichtig, um auf diesem international umkämpften Feld zu bestehen“, so Bloch.

## Gelungener Start

Seit rund einem Jahr erhält der Cluster Förderung aus der Exzellenzstrategie. Die Sprecher sind mit dem bisherigen Verlauf sehr zufrieden: „Der Start ist uns leicht gefallen, weil wir schon seit Jahren eng zusammenarbeiten, beispielsweise im Munich Quantum Center. Daher mussten wir den Cluster nicht erst aus dem Boden stampfen, sondern konnten direkt loslegen“, sagt Rudolf Gross.

Ein besonderer Erfolg ist die Entwicklung des ersten Masterstudiengangs zu Quantenwissenschaften und -technologie in Deutschland. Der Studiengang, den die beiden Münchner Universitäten TUM und LMU gemeinsam anbieten, wird im kommenden Wintersemester starten und soll neben Physikerinnen und Physikern beispielsweise auch Ingenieursstudierende anlocken. Bachelorstudierende können in München bereits über Sommerschulen in die Quantentechnologie hineinschnuppern, für Promovierende gibt es seit mehreren Jahren eine entsprechende Graduiertenschule. „Die Firmen beklagen einen Mangel an Absolventinnen und Absolventen, die Erfahrungen aus diesem Bereich haben, daher ist der Studiengang für uns ein großer Erfolg“, bekräftigt Immanuel Bloch.

Die Münchner Forscher nehmen auch erfolgreich Einfluss auf die Politik, um den Forschungsbereich zu stärken: So wird die Quantentechnologie in der High-Tech-Agenda Bayern als eines der wichtigen fünf Gebiete genannt. Auch die Öffentlichkeitsarbeit haben die Forscher des MCQST im Blick: Gemeinsam mit dem Deutschen Museum in München wollen sie eine permanente Ausstellung zur Quantenphysik einrichten. „Beim letzten Planungsmeeting kam Wolfgang Ketterle aus Boston angereist, und aus Harvard war Markus Greiner per Skype zugeschaltet. Das zeigt eindrucksvoll, dass hochrangige Wissenschaftler aus den USA unsere Projekte tatkräftig unterstützen“, freut sich Rudolf Gross.

Auch der vielzitierte Quantencomputer steht natürlich auf der Münchener Agenda, auch wenn Rudolf Gross die Euphorie etwas bremsen möchte. „Für den Quantencomputer ist noch harte Entwicklungsarbeit notwendig“, sagt er. So gelte es, eine Steuerelektronik und Ausleseverfahren zu entwickeln, Qubits und Gatter zu optimieren oder neue Ideen dafür zu erarbeiten und die Hardwarekomponenten gezielt zu verbessern. Zu all diesen Bereichen wollen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Munich Center for Quantum Science and Technology einen entscheidenden Beitrag leisten.

## Die Exzellenzcluster

In loser Folge stellt das Physik Journal die Cluster der Exzellenzstrategie mit Schwerpunkt in der Physik bzw. starker Beteiligung von Physikerinnen und Physikern vor.

Für alle, die bei  
**Quanten**

nicht an  
Füße  
denken



© ra2.studio/Fotolia.com

Das Physikportal

**pro-physik.de**

Registrieren Sie sich jetzt auf

**[www.pro-physik.de/user/register](http://www.pro-physik.de/user/register)**

und folgen Sie uns auf Facebook  
und Twitter.

WILEY-VCH