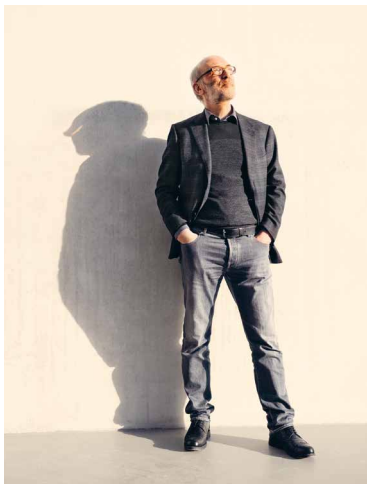


„Darin steckt ein riesiges Anwendungspotential“



Fotos **Robert Brembeck**

Ein Gespräch mit dem **Physiker Rudolf Gross** über die Bedeutung der Quantentechnologie und den Erfolg des „Münchener Zentrums für Quantenwissenschaften und -technologie“ (MCQST) bei der Exzellenzstrategie 2018: Das Zentrum erhält zunächst über sieben Jahre rund acht Millionen Euro jährlich.

Obwohl wir heute zahlreiche Technologien nutzen, die auf Erkenntnissen der Quantenmechanik basieren, ist das Thema vielen Menschen nach wie vor fremd. Worum geht es in der Quantenphysik?

Die Welt der Quanten erscheint Laien sehr seltsam, da sich Quantenteilchen nicht gemäß unserer Alltagserfahrung verhalten. Sie lassen sich nicht mehr mit den Vorstellungen der klassischen Physik verstehen. In der Quantenwelt können Teilchen Wände durchtunneln, und physikalische Größen wie der Drehimpuls oder die Energie nehmen nur bestimmte Werte an, sie sind also gequantelt. Schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts hat die theoretische Beschreibung dieser Phänomene durch die Quantenmechanik unser Verständnis der mikroskopischen Welt verändert. Derzeit steht mit der „Quantentechnologie 2.0“ der nächste revolutionäre Schritt an. Dabei sollen die spezifischen Quanteneigenschaften „Superposition“ und „Verschränkung“ ausgenutzt werden. Superposition bedeutet, dass zum Beispiel Quantenbits im Gegensatz zu klassischen Bits Zwischenzustände

zwischen „0“ und „1“ einnehmen können. Und verschränkt nennt man zwei Quantenteilchen (z. B. Atome, Elektronen oder Photonen) dann, wenn man den Zustand beider Teilchen nur gemeinsam beschreiben kann und nicht einzeln. Verschränkte Teilchen sind also nicht mehr unabhängig voneinander, sondern stehen selbst über große Entfernungen in Beziehung zueinander. Es ist schade, dass gerade das Phänomen der Verschränkung, das zentrale Bedeutung für mögliche Anwendungen hat, für Laien so schwer zu erfassen ist. Wir werden deshalb im Deutschen Museum eine permanente Ausstellung einrichten, um die Quantenphysik zu erklären.

Im Januar startete der neue Exzellenzcluster MCQST. Neben den Münchner Unis sind das Max-Planck-Institut für Quantenoptik, das Walther-Meißner-Institut der BAdW und das Deutsche Museum außeruniversitäre Partner. Was ist das Ziel des Clusters? Wir wollen die Prinzipien der Quanteninformation und die Grundlagen der Quantentechnologie auf breiter Basis erforschen,

um quantenmechanische Effekte für Anwendungen gezielt nutzbar zu machen. Ein zentrales Thema wird dabei sein, das Phänomen der Verschränkung von Quantenteilchen umfassend zu verstehen. Der Cluster deckt Themenfelder von der absoluten Grundlagenforschung bis zur Anwendung ab. Wir wollen etwa neuartige Sensoren und Quantenmaterialien entwickeln, die Grundlagen für ein zukünftiges Quanteninternet untersuchen und erste einfache Quantencomputer realisieren. Das Faszinierende an MCQST ist, dass wir hier die Expertise einer einzigartigen Vielzahl von herausragenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Disziplinen bündeln und dadurch ein international sichtbares Zentrum im Bereich der Quantenwissenschaft und -technologie schaffen. Es wird München für Spitzenforscher noch attraktiver machen.

Problematisch ist jedoch, dass die Mittel aller erfolgreichen Clusteranträge in der Exzellenzstrategie um 25 Prozent gekürzt wurden. Wir haben die Mittel im Antrag sehr sorgfältig geplant und werden

„Unser Fernziel ist es, aus Quantensystemen einen voll programmierbaren Quantencomputer zu bauen.“

Ein Doktorand am WMI bringt einen Probenstab in eine Tieftemperaturapparatur ein.



Forschung

Blau ist die Farbe der Akademie. Nachwuchsforscher Mathias Weiler fühlt sich am WMI im gleißenden Licht eines blauen Lasers sichtlich wohl.

deshalb unsere ursprünglichen Pläne stark beschneiden müssen. Das ist umso bedauerlicher, als der Antrag von dem internationalen Gutachtergremium extrem positiv bewertet wurde. Erfreulich ist aber, dass Bund und Freistaat Bayern für rund 40 Millionen Euro einen neuen Forschungsbau für die Technische Universität München in Garching finanzieren werden, das Center for Quantum Engineering (CQE).

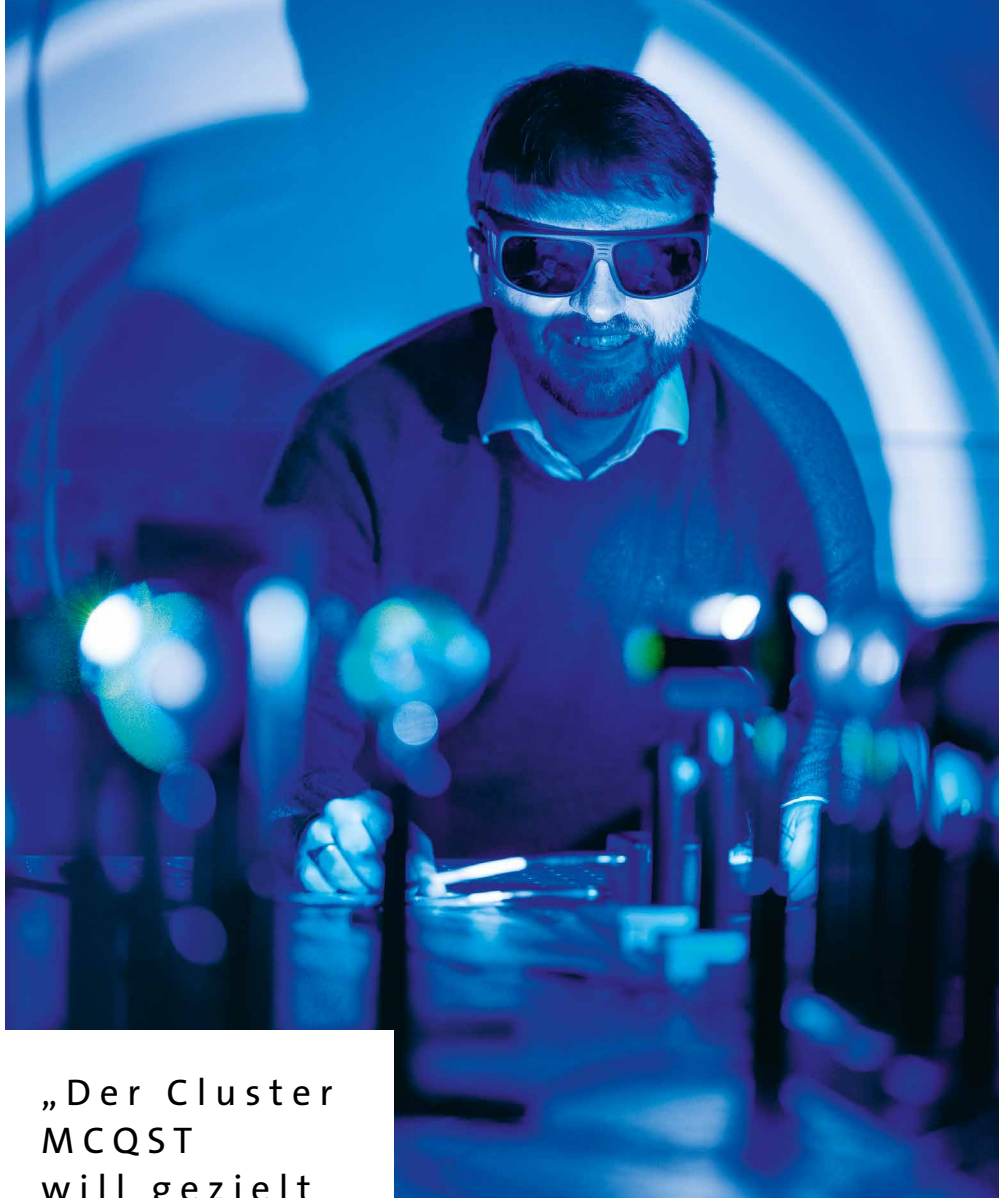
Was ist die Rolle des Walther-Meißner-Instituts im MCQST-Cluster?

Wir haben uns riesig gefreut, dass wir uns in dem hochkompetitiven Wettbewerb durchsetzen konnten. Das WMI hat in den letzten 15 Jahren sehr erfolgreich in Sonderforschungsbereichen und Exzellenzclustern gearbeitet. Es sind genau die themenorientierte Verschränkung unterschiedlicher Disziplinen und die enge Zusammenarbeit mit mehreren Partnerinstitutionen, die am WMI internationale Spitzenforschung ermöglichen und die spezifischen Stärken eines Akademieinstituts voll zur Geltung bringen.

Wir haben die Quantenwissenschaften früh als wichtiges Zukunftsfeld erkannt, die hierzu notwendigen Technologien aufgebaut und qualifizierte Nachwuchsforscher ausgebildet. Das war ein wesentlicher Faktor für den Erfolg bei der Exzellenzstrategie. Das WMI ist ein wichtiger Pfeiler des Clusters MCQST. Es liefert nicht nur Spitzentechnologie im Bereich der Kryo- und Mikrowellentechnologie, sondern auch bei der Herstellung nanomechanischer, magnetischer und supraleitender Quantenbauelemente. Letztere werden von Firmen wie Google, IBM oder Intel als die aussichtsreichste Technologie-Plattform für supraleitende Quantencomputer betrachtet.

Welche Vorteile hat die Arbeit im Cluster? Welche Herausforderungen sehen Sie?

Die wissenschaftlichen Fragestellungen, die im Cluster MCQST bearbeitet werden, sind extrem anspruchsvoll. Wir stehen vor enormen Herausforderungen, die wir nur mit einem Team exzellenter Wissenschaftler erfolgreich bearbeiten können. So kann das Prinzip der Verschränkung überaus



„Der Cluster MCQST will gezielt jüngere Wissenschaftler fördern und ihnen ermöglichen, eigene Ideen schnell umzusetzen.“

komplexe Formen annehmen, und mit zunehmender Zahl der beteiligten Teilchen wird es immer schwieriger, Verschränkung zu charakterisieren, zu klassifizieren und zu verstehen. Das ist wahrscheinlich genauso schwierig, wie das Sozialverhalten einer großen Personengruppe vorherzusagen. Sobald wir das Prinzip der Verschränkung besser verstehen, können wir einzelne Quantensysteme kontrollieren und vielleicht sogar gezielt künstliche Materie aus Quantenbausteinen aufbauen. Darin steckt ein riesiges Anwendungspotential, das heute nur in Ansätzen absehbar ist: Wir können dann größere Quantensysteme bis hin zu Quantensimulatoren oder gar Quantencomputern kontrolliert herstellen.

Welche Rolle spielt der wissenschaftliche Nachwuchs im neuen Cluster?

Der Cluster MCQST will gezielt jüngere Wissenschaftler fördern und ihnen

ermöglichen, eigene Ideen schnell umzusetzen. Wir möchten mit sogenannten START Fellowships talentierten Postdoktoranden die ersten Schritte hin zu eigenen Arbeitsgruppen erleichtern. Das Forschungsfeld „Quantentechnologie“ besitzt enormes Zukunftspotential, deshalb baut MCQST einen Master-Studiengang „Quantum Science and Technology“ auf, der künftig von beiden Münchner Universitäten gemeinsam angeboten wird. Dies ist nicht nur ein wichtiger Meilenstein für die zukunftsorientierte Ausbildung von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren, sondern auch eine dringend notwendige Unterstützung für die Industrie, die zunehmend Bedarf an Experten aus der Quantentechnologie hat.

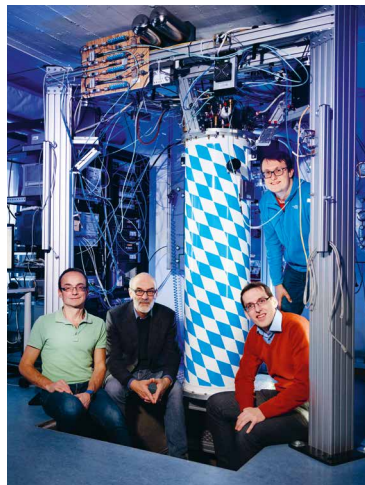
Auf welche Anwendungen konzentrieren Sie sich im Cluster?

Das reicht von hochempfindlichen Quantensensoren und maßgeschneiderter Quantenmaterie über extrem genaue Messgeräte und neue Schnittstellen für abhörsichere Kommunikationskanäle bis hin zu Quantensimulatoren und Quantencomputern. Vielleicht können wir eine abhörsichere Teststrecke zwischen LMU und TUM aufbauen, damit unsere Präsidenten einmal völlig sicher miteinander kommunizieren können. Aber Spaß beiseite: Unser Fernziel ist es, aus Quantensystemen einen voll programmierbaren Quantencomputer zu bauen. Hierzu müssen wir noch viele Hürden überwinden. Da die Weiterentwicklung der klassischen Computer aber zunehmend an Grenzen stößt, sind Quantencomputer ein interessantes Thema. Wir werden das mit großem Enthusiasmus angehen und in vielen Bereichen große Fortschritte machen, in anderen aber vielleicht auch Rückschläge hinnehmen müssen – so ist eben Forschung.

In einem kompetitiven Verfahren hat das WMI vor Kurzem auch den Zuschlag für ein europaweites Projekt im Rahmen der milliardenschweren Flaggschiff-Initiative zur Quantentechnologie der Europäischen Union erhalten. Worum geht es dabei?

Das ist ein toller Erfolg, denn es hatten sich etwa 90 Vorhaben beworben. Unser Projekt heißt „Quantenkommunikation und Quantensensorik mit Mikrowellen“. Inhaltlich geht es um das bereits erwähnte Phänomen der Verschränkung. Wir machen uns zunutze, dass spezielle Schaltkreise aus

„Wir stehen vor enormen Herausforderungen, die wir nur mit einem Team exzellenter Wissenschaftler erfolgreich bearbeiten können.“



Freuen sich über den Erfolg des Walther-Meißner-Instituts bei der EU-Flaggschiff-Initiative zur Quantentechnologie: Projektkoordinator Frank Deppe, WMI-Direktor Rudolf Gross, Kirill Fedorov (stehend) und Achim Marx (v. l. n. r.).

mikro- und nanostrukturierten supraleitenden Materialien nahe dem absoluten Temperaturnullpunkt, also bei -273 Grad Celsius, Mikrowellenstrahlen aussenden, die diese besondere Eigenschaft der Verschränkung haben. Wir wollen diese Eigenschaft gezielt nutzen und innerhalb von drei Jahren am WMI den Prototyp eines Quantennetzwerkabels für die Verbindung von Quantencomputern entwickeln, außerdem ein Konzept für Quantenradar mit verbesserter Sensitivität. Das WMI leitet für das Projekt ein Konsortium aus renommierten Forschergruppen in Frankreich, Spanien, Finnland und Portugal sowie weiteren industriellen Partnern.

Sie forschen selbst seit vielen Jahren auf dem Gebiet der Quantenphysik. Wie kamen Sie zu dem Thema?

Ich habe mich schon vor fast 30 Jahren als Postdoktorand am IBM T. J. Watson Research Center mit makroskopischen Quantenphänomenen in Supraleitern beschäftigt, und seither hat mich die spannende Welt der Quantenphysik nicht mehr losgelassen. Als ich im Jahr 2000 nach München kam und die Leitung des WMI übernahm, war mir sofort klar, dass festkörperbasierte Quantensysteme ein Forschungsschwerpunkt des WMI werden müssen – und es freut mich, dass wir diesen Weg jetzt so erfolgreich weitergehen können.

Fragen: el

Prof. Dr. Rudolf Gross

ist Inhaber des Lehrstuhls für Technische Physik an der TU München und Direktor des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung der BADW. Seine Forschungsschwerpunkte sind Tieftemperatur-Festkörperphysik, Quantentechnologie, Supraleitung, Magnetismus, Spin Elektronik und Nanotechnologie. Er ist Mitglied der BADW, war Sprecher des SFB 631, ist Vorstandsmitglied des Exzellenzclusters „Nanosystems Initiative Munich“ (NIM) (2006–2019) und seit Jahresbeginn einer der drei Sprecher des Clusters „Münchner Zentrum für Quantenwissenschaften und -technologie“ (MCQST).