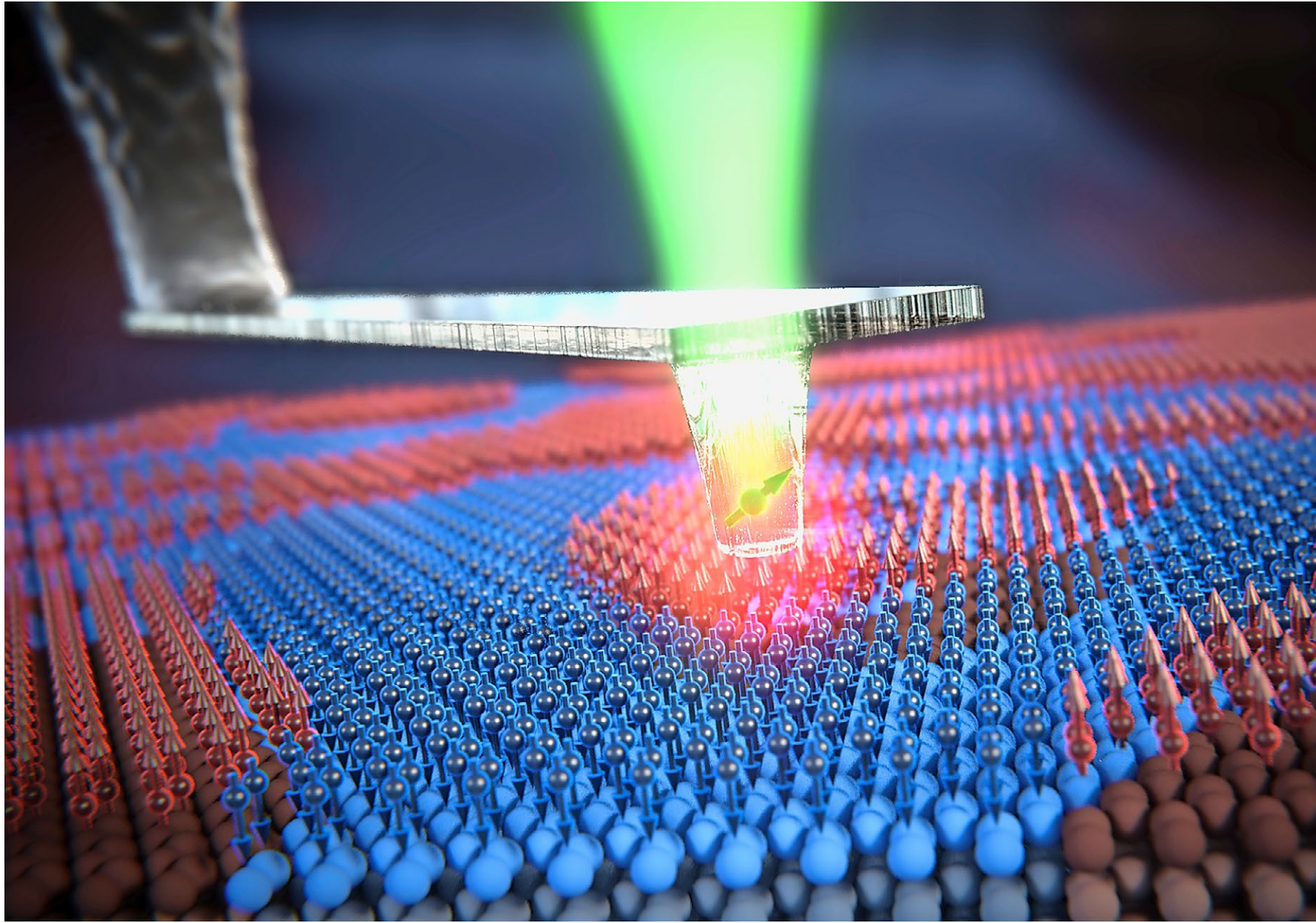


## Wissen

# «Ohne die Schweiz geht es nicht»

Tommaso Calarco entscheidet mit, wie dank einer Milliarde Euro aus der Quantentheorie praktische Anwendungen entstehen. Damit könnte etwa die Diagnose von Krankheiten verbessert werden.



Illustrierter Quantensensor: Eine winzige Spitze aus Diamant mit eingebautem Sensor (gelber Pfeil) misst Magnetfelder (rote und blaue Zonen). Foto: Universität Basel

Mit Tommaso Calarco sprach Joachim Laukenmann

**Die erste Quantenrevolution führte zu Produkten wie dem Laser und dem Halbleiter-Transistor. Warum ist nun von einer zweiten Quantenrevolution die Rede?**

Bei den erwähnten Produkten der ersten Quantenrevolution haben wir es mit einer Unmenge von Quantenobjekten zu tun. In einem Transistor stecken sehr viele Elektronen, und ein Laser erzeugt Unmengen Lichtteilchen. In der zweiten Quantenrevolution geht es um einzelne Quantensysteme, also um einzelne Lichtteilchen für die sichere Quantenkommunikation, um einzelne Elektronen für äusserst sensible Messtechnik und um einzelne Atome für das Quantencomputing. Die Manipulation von einzelnen Quantenobjekten hielten die Gründerväter der Quantenmechanik für unmöglich. Mittlerweile sind wir dazu in der Lage. Das ist die Grundlage für die zweite Quantenrevolution.

**In einem Bericht zum Quantum-Flagship heisst es, Europa sei in dieser Thematik führend. Wozu braucht es dann noch ein Flagship?**

In der Wissenschaft ist Europa führend. Uns fehlen aber die finanziellen Mittel, um das Grundlagenwissen in Technologie und Industrieprodukte umzuwandeln.

**Dafür braucht es eine Milliarde Euro?**

Ich habe einmal den Chef des Google Quantum Artificial Intelligence Lab, Hartmut Neven, gefragt, wie wir in Europa eine ähnlich hohe Beteiligung der Industrie an den neuen Quantentechnologien erreichen können wie in den USA. Seine Antwort lautete: Das könnt ihr nicht, denn ihr sitzt nicht auf einem Haufen Geld wie einige Unternehmen aus dem Silicon Valley. Allein Google möchte bis zu eine Milliarde US-Dollar für Quantencomputer-Forschung ausgeben. Den europäischen Unternehmen fehlt schlicht das Geld, um gross in

diese Technologien einzusteigen. Deswegen brauchen wir die Unterstützung der Europäischen Kommission.

**Welches sind die wesentlichen Ziele des Quantum-Flagship?**

Wir wollen eine absolut abhörsichere Kommunikationstechnologie, ultrapräzise Messtechnik und leistungsfähige Quantencomputer entwickeln. Das soll aber nicht nur wissenschaftlich erforscht, sondern in die Praxis überführt werden. Innovationen im Bereich der Quantentechnologien sind ein sehr grosses Thema bei diesem Flagship. Überall in Europa sollen Innovations-Ökosysteme basierend auf den neuen Quantentechnologien entstehen.

**Welchen Nutzen haben diese neuen Technologien für die Gesellschaft?**

Die Quantensensorik verspricht eine viel präzisere Diagnose von Krankheiten.



**Tommaso Calarco**  
Der 47-Jährige ist Direktor des Zentrums für Integrierte Quantenwissenschaft und -technologie der Unis Ulm und Stuttgart und des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung.

Wir werden damit auch in der Lage sein, die Aktivität von einzelnen Neuronen im Gehirn zu messen. Neben Anwendungen in der Medizin kommt die Technik auch in der Satellitennavigation zum Einsatz. Was Quantencomputer betrifft, so lassen sich damit gewisse Optimierungsaufgaben wesentlich besser lösen als mit klassischen Computern, zum Beispiel die Routenfindung für Fahrzeuge in einer Grossstadt. Es wird auch möglich sein, neue Materialien oder Chemikalien zu entwickeln, indem wir Quantensysteme auf Atom genau simulieren. Und die Bedeutung einer sicheren Kommunikationstechnik sollte uns allen seit dem NSA-Skandal und den Enthüllungen durch Edward Snowden bewusst sein.

**Eine absolut sichere Kommunikation könnte von Terroristen missbraucht werden.**

Leider kann keine Technologie aus sich selbst heraus schädliche Anwendungen ausschliessen. Wenn die technischen Voraussetzungen einmal vorhanden sind, kann ein einseitiger Verzicht andere nicht daran hindern, dieselbe Technologie zu entwickeln. Wenn wir jedoch über die nötigen Kenntnisse verfügen, kann das helfen, Missbräuche zu verhindern. Wir müssen uns der Risiken bewusst sein, um damit bestmöglich umzugehen. Dies ist die gemeinsame Verantwortung von Wissenschaft und Gesellschaft.

**Wie ist die Schweiz aufgestellt in Sachen Quantentechnologien?**

Enorm stark. Kürzlich hatten wir in Bern einen Quanten-Flagship-Tag. Da wurde klar, dass die Schweiz in fast allen Gebieten der neuen Technologie unter den weltweit Besten ist. Ohne die Schweiz können wir das nicht schaffen.

**Können Sie Beispiele nennen?**

In der Schweiz existiert bereits ein starkes Forschungsnetzwerk im Bereich der Quantentechnologien. Es heisst Quantum Science and Technology, kurz QSIT. Daran sind Forschergruppen kreuz und quer durch die Schweiz beteiligt, von den beiden ETH, von den Universitäten Basel, Bern, Genf, von der Universität der italienischen Schweiz, aber auch Unternehmen wie IBM. Die Schweiz hat mit ID Quantique in Genf eine weltweit führende Firma im Bereich der Quantenkommunikation. Ein Start-up von der ETH Zürich, Zurich Instruments, liefert spezialisierte Elektronik für den Bau von Quantencomputern. Das Quantum-Flagship wird weitere solche Start-ups hervorbringen. Eine Stärkung auf diesem Fachgebiet kann nur von Vorteil sein für die Schweizer Wirtschaft.

**Woher kommt das Geld von rund einer Milliarde Euro?**

Die Hälfte kommt vom EU-Forschungsrahmenprogramm, also von Horizon 2020 und vom Folgeprogramm FP9. Die

andere Hälfte steuern nationale Forschungsprogramme bei.

**Die beiden laufenden Flagships wurden kritisiert, etwa wegen zu hierarchischer Strukturen. Was soll beim Quantum-Flagship anders gemacht werden?**

Das Flagship ist kein Club von wenigen Leuten, die vorgeben, was getan werden soll. Vielmehr werden die Inhalte durch eine strategische Forschungsagenda bestimmt, die mit der ganzen Community und der Industrie erarbeitet wird.

**Wie wählen Sie die Projekte aus?**

Die Projekte wählt die Europäische Kommission durch eine offene, kompetitive Ausschreibung. Jeder innerhalb von Europa kann sich bewerben. Die besten Projekte werden selektiert.

**Welches sind die nächsten Schritte?**

Im November ist die erste Ausschreibung. Sie ist mit circa 140 Millionen Euro ausgestattet. Das bereitet die Europäische Kommission derzeit vor. Da können sich die Mitglieder von Konsortien, bestehend aus Industrie und Hochschulen, bewerben. Dann folgt die Projektevaluation, also die Begutachtung und Bewilligung der Eingaben. Die ersten Projekte sollen dann Ende 2018 oder im Januar 2019 starten.

**Serie**  
Quantenrevolution

In der Quantenphysik bahnt sich eine Revolution an: Quantencomputer, Quantenverschlüsselung und Quantensensoren werden Realität. Damit Europa diese Entwicklung nicht verpasst, hat die Europäische Kommission das Quantum Technologies Flagship lanciert, welches sie mit insgesamt einer Milliarde Euro über zehn Jahre unterstützt. Tommaso Calarco sitzt im 13-köpfigen Lenkungsgremium des Flagship. (TA)

Nächste Folgen:  
Quantencomputer 14. 8.  
Quantenverschlüsselung 17. 8.

## Quantensensorik Sensible Defekte im Diamant

Die Eigenschaften von Atomen erlauben Messungen auf Nanometer genau.

Der Physiker Patrick Maletinsky von der Universität Basel nutzt die enorme Fragilität von Quantensystemen, um damit winzige Sensoren zu bauen. Diese können selbst kleinste Änderungen magnetischer Felder oder anderer physikalischer Grössen registrieren. Das verspricht unter anderem bildgebende Diagnoseverfahren für die Medizin, die heutige Methoden wie das Magnetresonanz-Imaging in puncto Sensibilität und Auflösung bei weitem übertreffen.

Maletinsky holt ein basketballgrosses Kristallmodell eines Diamanten aus dem Regal, um die Quantensensoren zu erklären. «Ein idealer Diamant besteht einzig aus Kohlenstoffatomen», sagt er. «Aber selbst der schönste Diamant hat Fehlstellen im Kristallgitter.» Einer der bekanntesten Defekte entsteht, wenn an einer Stelle im Kristall ein Kohlenstoffatom fehlt und daneben ein Stickstoffatom sitzt. Daher nennt sich diese Fehlstelle Stickstoff-Vakanz-Zentrum, kurz NV-Zentrum, wobei das N für Nitrogen steht, Englisch für Stickstoff.

Ein solches NV-Zentrum wirkt wie ein separates Molekül mitten im Diamantkristall. Und vor allem besitzt es einen Eigendrehimpuls (Spin), der wie in der Quantenwelt üblich zwei Zustände einnehmen kann: Spin nach oben oder Spin nach unten. «Es ist ein Geschenk der Natur, dass wir den Spin dieser NV-Zentren sehr einfach mit optischen Mitteln manipulieren können, etwa mit einem grünen Laser und mit Mikrowellen», sagt Maletinsky. So kann der Forscher die Fehlstellen in einen äusserst sensiblen Zustand bringen, in dem der Spin auf winzige Einflüsse reagiert.

**Diamantnadeln von Qnami**

«Meine Mission ist es, die NV-Zentren in eine robuste Quantentechnologie zu verwandeln», sagt Maletinsky. Kürzlich hat er mit Kollegen das Spin-off Qnami gegründet, das winzige Diamantnadeln mit den gewünschten Fehlstellen an der Spitze produziert. Diese lassen sich zum Beispiel an einem Rasterkraftmikroskop anbringen. Führt man damit eine Diamantnadel einer Oberfläche entlang, reagieren die speziell präparierten Spins der NV-Zentren auf jedes noch so kleine elektromagnetische Feld. So lassen sich zum Beispiel neuartige Speichermedien für Computer untersuchen und optimieren, die sogenannten Dünnfilmmagnete. «Wir hoffen, dass wir mit unserer Technologie einiges dazu beitragen können, um diese neuartigen Speichermedien besser zu verstehen und praxistauglich zu machen», sagt Maletinsky.

Ein anderes künftiges Einsatzgebiet der Diamantsensoren wären Magnetresonanz-Aufnahmen (MRI) auf der Nanoebene mit Anwendungen im Bereich der Medizin und Chemie. «Damit könnte man einzelne Zellen oder Moleküle anschauen», sagt Maletinsky. «Die Auflösung wäre etwa zehntausendmal höher als bei einem heutigen MRI.» Zudem möchte der Forscher grundsätzliche Fragen in der Festkörperphysik klären, etwa das seit langem bekannte, aber nach wie vor nicht vollständig verstandene Phänomen der Supraleitung, bei dem elektrischer Strom widerstandsfrei fliesst.

Was das mit einer Milliarde Euro dotierte Quantum-Flagship der EU betrifft, so erhofft sich Maletinsky einiges. «Man muss natürlich abwarten, wie das Flagship genau aussieht und wie die Mittel gesprochen werden. Aber grundsätzlich ist das sehr relevant, und ich bin sicher, dass die Entwicklung der Quantentechnologie in Europa und in der Schweiz dadurch markant beschleunigt wird.»

Joachim Laukenmann, Basel