



Quanten machen große Sprünge

Ein Flaggschiff der Europäischen Kommission zu Quantentechnologien soll helfen, Ergebnisse aus den Laboren in marktreife Produkte zu überführen.

Kerstin Sonnabend

Im April 2016 gab die Europäische Kommission – versteckt in einer umfangreichen Pressemitteilung – bekannt, im Rahmen einer European Cloud Initiative ein europaweites Flaggschiff zu Quantentechnologien fördern zu wollen.¹⁾ Grundlage der Entscheidung, im Laufe von zehn Jahren etwa 500 Millionen Euro zu investieren, sofern die Mitgliedsstaaten einen ähnlichen Beitrag durch nationale Fördermittel aufbringen, war das „Quantum Manifesto“. Ein sechsköpfiges Autorenteam um den Quantenphysiker Tommaso Calarco (IQST Ulm) hatte dieses verfasst.²⁾ Fast 3700 Befürworter aus Wissenschaft und Industrie haben diese Roadmap der europäischen Quantentechnologie unterzeichnet, die auf Einladung von Günther Oettinger, damals EU-Kommissar für „Digital Economy and Science“, entstanden war.

Ein völlig anderes Verfahren also, ein Flaggschiff aus der Taufe

zu heben, als es für die bereits laufenden Initiativen – das Graphene Flagship und das Human Brain Project – der Fall war. Beide hatten sich in einem mehrjährigen Prozess in verschiedenen Auswahlrunden gegen über 20 konkurrierende Projekte durchgesetzt.³⁾ Darunter war ein von Peter Zoller (IQOQI Innsbruck, Österreich) koordinierter Vorschlag zur industriellen Anwendung von Quantentechnologien, den Tommaso Calarco in einer der Auswahlrunden vorgestellt hatte. Der Antrag hatte aber nicht den Sprung in die Runde der sechs Pilotprojekte geschafft, die im Mai 2011 in die engere Wahl kamen. Doch die Idee einer „zweiten Quantenrevolution“ stand damit im Raum. Für die Physiker bedeutet das, Quanteneffekte wie Verschränkung und Superposition zu nutzen, um neue Anwendungen von Quantentechnologien zu erschließen.

Diesen Vorschlägen geht in Großbritannien bereits seit Dezem-

ber 2014 eine groß angelegte nationale Initiative nach: In vier Zentren, so genannten Quantum Hubs, wird die Forschung auf komplementären Gebieten koordiniert (Infokasten UK National Quantum Technologies Programme). An den Standorten und den angeschlossenen Partneruniversitäten stehen den Forscherinnen und Forschern für verschiedenste Projekte umgerechnet etwa 350 Millionen Euro innerhalb von fünf Jahren zur Verfügung.

Neben der Forschung gibt es an jedem der Hubs Maßnahmen, um Partnerschaften mit Unternehmen aufzubauen – sei es, dass die Firmen sich aktiv an den Forschungsarbeiten beteiligen, beispielsweise mit ihrem Fachwissen und der Entwicklung benötigter Geräte, oder dass sie die erhofften Produkte einsetzen und vermarkten möchten. Ziel ist es, möglichst viele Kontakte zu knüpfen – vom spezialisierten Startup über den Mittelstand bis zum Großkonzern.

1) bit.ly/2E4mZTD

2) qurope.eu/manifesto und *Physik Journal*, Juni 2016, S. 3 und S. 6

3) *Physik Journal*, März 2013, S. 6, Juni 2011, S. 10 und Juni 2010, S. 7

Sensoren als erste Produkte

Die größte Nähe zur Anwendung besteht im Bereich Quantensensorik und -metrologie. Das unterstreichen eindrucksvoll die Aktivitäten im UK Quantum Technology Hub for Sensors and Metrology, den der deutsche Physiker Kai Bongs, Professor an der University of Birmingham, als Direktor leitet. Er konnte bereits mehr als siebzig Unternehmen als Partner gewinnen. „Die enge Zusammenarbeit erlaubt es uns, schon bei grundlegenden Arbeiten die Wünsche der Anwender zu berücksichtigen“, ist er sich des gegenseitigen Nutzens gewiss.

Um die Kontakte zur Industrie aufzubauen, finden im Rahmen der Hubs als eine zentrale Maßnahme besondere Workshops statt, zu denen alle Anwender und Firmen aus einem Bereich eingeladen sind, beispielsweise Gesundheitspflege oder Navigation. Kai Bongs hält die Workshops für ein gutes Mittel, durch das mitunter ungewöhnliche Kooperationen zustande kämen. Eine Firma, die Sensoren für Bewegungsprofile von Kühen vertreibt, interessierte sich für Navigations-sensorik, die anders als GPS-basierte Technik nicht nur auf der Weide, sondern auch im Stall funktioniert. Doch dafür werden Quantensensoren in absehbarer Zeit nicht klein und günstig genug herstellbar sein. Dagegen könnten Quantensensoren für Magnetfelder den Herzschlag der Kühe überwachen und beispielsweise feststellen, ob sie krank sind oder unter Stress stehen. Dabei ergeben sich laut Bongs ungeahnte Anforderungen an den Sensor: „Er muss fünf Jahre lang ohne Batterietausch am Tier überstehen – das



Im Oktober 2015 brach ein zehn Meter tiefes Senkloch in St. Albans, Hertfordshire, auf. Die Betonfüllung sicherte die angrenzenden Häuser, während

die Ursache gesucht wurde. Erst ein Jahr später war die Straße wieder befahrbar.

ist die typische Lebensdauer einer Kuh.“

Bei den erwähnten Workshops tauschen sich die Mitarbeiter der vier Hubs aber auch untereinander aus und können den Anwendern die gesamte Bandbreite ihrer Forschung präsentieren. So hat Kai Bongs durch seinen Vortrag bei einem Workshop des Telekommunikationshubs eine Firma auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht, mit Quantensensoren Kabelkanäle ohne lästige Erdarbeiten auf Schäden und Kapazität zu prüfen. „Gravitationsgradiometer können uns Dichteprofile bis in mehrere zehn Meter Tiefe liefern“, erklärt er. Kalte Atome dienen dabei als Testmassen, um mittels Interferometrie das lokale Schwerfeld exakt zu bestimmen.

Diese Technik stößt auf breites Interesse im Bauwesen. Daher ist den Anwendungen der Gravitationsgradiometer ein ganzes Arbeitspaket im Birmingham Hub gewidmet: Die

promovierte Bauingenieurin Nicole Metje ist ver-

antwortlich für „Gravity in Civil Engineering“. Sie ist vom Nutzen der Quantensensoren überzeugt, da diese eine breite Palette von Anwendungen bieten. Beispiele sind die Suche nach Senklöchern im ehemaligen Bergbaugelände zwischen Manchester und Birmingham, die den Bau einer Hochgeschwindigkeitsbahntrasse vereiteln könnten, oder das Aufspüren vergrabener Tanks in ehemaligen Industriegebieten, die für eine Wohnbebauung vorgesehen sind.

Mit Quanten gegen Bauschäden

Welchen Markt die Sensoren abdecken könnten, hat Nicole Metje im Rahmen des „Infrastructure Monitoring“ bestimmt: „Allein die Schäden an Wohnhäusern durch Absenkung im Untergrund kosten die britische Versicherungsindustrie durchschnittlich etwa 400 Millionen Pfund pro Jahr“. Der plötzliche Zusammenbruch einer Straße in ein Senkloch stellt dabei die medienwirksame, spektakuläre Ausnahme dar. Viel häufiger führen anfangs unauffällige Setzrisse dazu, dass neu gebaute Häuser nicht mehr bewohnbar sind. „Oft wissen





Projektleiter Mike Holynski (links) und sein Team haben das Gravitationsgradiometer „Gravity

Imager“ entwickelt und erste Messungen auf einem Testgelände durchführen können.

weder Eigentümer noch Bauunternehmen, dass sich in zehn Metern Tiefe historische Schächte mit vier bis acht Metern Durchmesser befinden – dazu gibt es meist keine Unterlagen mehr“, erklärt Metje.

Zum Birmingham Hub gehören auch Forscherinnen und Forscher der beiden Universitäten in Glasgow sowie der Universitäten in Nottingham, Southampton und Sussex. Das Institute of Photonics der University of Strathclyde befindet sich im gleichen Gebäude wie das Fraunhofer Centre for Applied Photonics – ein Musterbeispiel für die kurzen Wege innerhalb der Hubs. Die Mitarbeiter des Fraunhofer Centre, das zur britischen Tochter der Fraunhofer-

Gesellschaft gehört, haben das Ohr nah an den Anwendern und können deren Wünsche und Vorstellungen an die Physiker weiterleiten.⁴⁾ So ergaben sich schon vor dem Start des Hubs und auch über den Hub hinaus kleinere Projekte beispielsweise im Rahmen der Programme von Innovate UK. Die Regierungsbehörde möchte Produktivität und Wachstum der britischen Wirtschaft durch die Anwendung neuer Technologien steigern.

Solche Kooperationen allein können den Quantentechnologien aber nicht den Weg zur breiten Anwendung ebnen, ist Kai Bongs überzeugt. Für ihn ist die größte Schwierigkeit bei der Zusammenarbeit von Universitäten und

Firmen das Ausarbeiten von Verträgen und der Schutz geistigen Eigentums: „Der juristische Aufwand auf beiden Seiten ist so hoch, dass sich Projekte, die weniger als 20 000 Pfund Fördermittel einbringen, nicht lohnen.“ Darum seien die vier Hubs so wertvoll, um auch langwierige gemeinsame Projekte auf den Weg bringen zu können. Aus dieser Erfahrung heraus unterstützt er die Bestrebungen, den Quantentechnologien auch europaweit den Weg zu Anwendungen zu ebnen, und gehört zu den Unterzeichnern des Quantum Manifesto.

Stapellauf nach langer Planung

Auf das europaweit angelegte Quantum Technologies Flagship – so der offizielle Name – lässt sich das Konzept der britischen Hubs aber nicht ohne Weiteres übertragen. Denn die Hubs bauen auf Lokalität und ziehen einen Teil ihrer Dynamik aus der räumlichen Nähe der Akteure. Im Gegensatz dazu soll das Flaggschiff in ganz Europa Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vernetzen und mit Unternehmen zusammenbringen.

Für seinen Erfolg ist es daher wichtig, transparente Strukturen zu schaffen – insbesondere bei der internen Verteilung der Fördermittel. Sonst kann es unter den Forschern, wie im Fall des Human Brain Project, schnell zu Unmut kommen, der das gesamte Projekt gefährdet.

4) Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt weltweit Tochtergesellschaften und Representative Offices als Brücken zu lokalen Märkten. www.fraunhofer.de/de/institute/international.html

5) Physik Journal, April 2017, S. 6 und bit.ly/2EktftF

UK NATIONAL QUANTUM TECHNOLOGIES PROGRAMME

Das Programm wird von **sieben Partnern** getragen: dem Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC), von Innovate UK, dem Department for Business, Innovation & Skills (BIS), dem National Physical Laboratory (NPL), den Government Communications Headquarters (GCHQ), dem Defence Science and Technology Laboratory (Dstl) und dem Knowledge Transfer Network (KTN).

■ Im Rahmen des **UK National Hub for Sensors and Metrology** (Kai Bongs, University of Birmingham) werden Quantensensoren für Rotation, Gravitation, Magnetfelder, Licht und Zeit entwickelt, die ihren klassischen Pendanten

beispielsweise in Auflösung, Geschwindigkeit oder Robustheit überlegen sind.

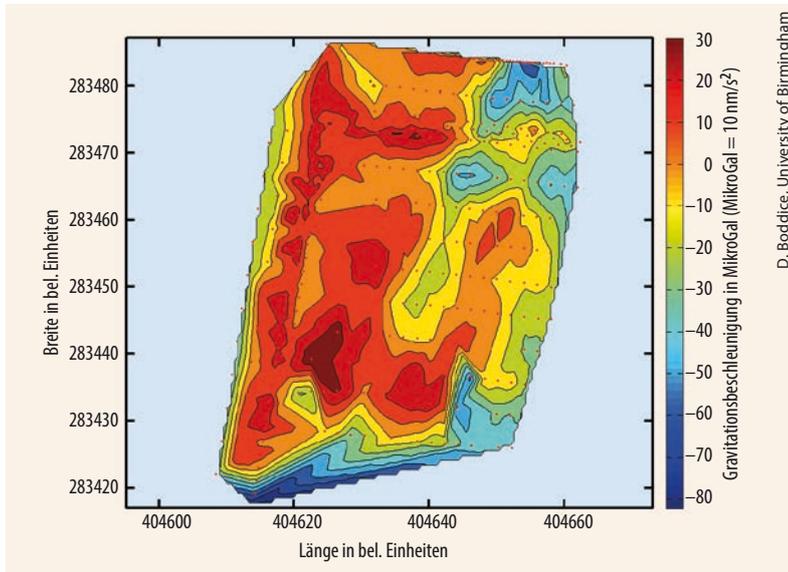
■ Der **UK Hub in Quantum Enhanced Imaging – QuantIC** (Steve Beaumont, University of Glasgow) hat zum Ziel, multidimensionale Kamerasysteme für verschiedene Wellenlängen, Zeit- und Größenskalen mit Anwendungen in industrieller und wissenschaftlicher Bildgebung zu entwickeln.

■ Die Forscherinnen und Forscher des Hubs **Networked Quantum Information Technologies – NQIT** (Ian Walmsley, University of Oxford) arbeiten am



Bau eines Demonstrators für einen universellen Quantencomputer.

■ Ziel des **Quantum Communications Hub** (Timothy Spiller, University of York) ist es, Technologien zum Quantenschlüsselaustausch und ein Quantennetzwerk für eine abhörsichere Kommunikation zu entwickeln.



Mit dem Gravitationsgradiometer bestimmt man ortsaufgelöst die Gravitationsbeschleunigung am Erdboden. Daraus lässt sich für die untersuchte Fläche ein Dichteprofil des Erdreichs ableiten.

Beispielsweise kann man aus einer leicht erhöhten Gravitationsbeschleunigung (rot) auf die Position und Tiefe metallischer Rohrleitungen in sandigem Erdreich schließen.

Um von Beginn an einen sicheren Kurs zu ermöglichen und Schwierigkeiten bei der Organisation zu vermeiden, hat die Europäische Kommission ein 25-köpfiges High-Level Steering Committee berufen. Paritätisch besetzt mit internationalen Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft traf sich die Gruppe erstmals im September 2016. Den Vorsitz hatte Jürgen Mlynek, ehemaliger Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft. Neben einer Forschungsstrategie sollten die Experten ein Modell zu deren Umsetzung entwickeln und Vorschläge für die Administration erarbeiten. Im November 2017 überreichten sie den Abschlussbericht in Brüssel.⁹⁾

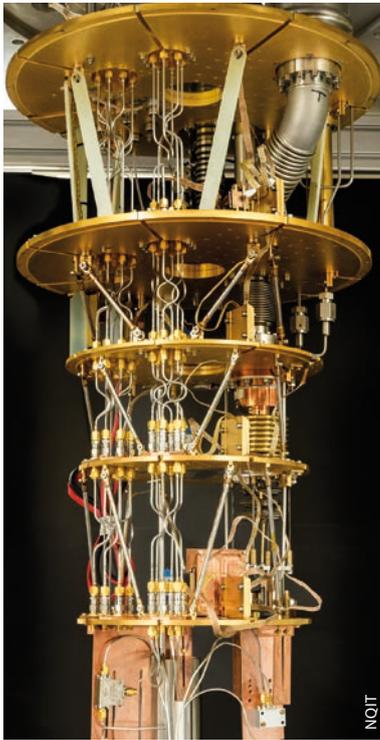
Strategie des Flaggschiffs soll es demnach sein, Laborergebnisse zu Quantentechnologien in vier Säulen zur Marktreife zu bringen beziehungsweise erste Schritte auf dem Weg zu einer Anwendung zu gehen. Diese Säulen bauen auf einem Fundament aus Grundlagenforschung auf (Infokasten Quantum Technologies Flagship). „Dort sollen Ideen und Forschungsansätze gefördert werden, die in keine der Säulen passen, aber über die gesamte Laufzeit hinaus für Innovationen sorgen könnten“, erklärt Jürgen Mlynek. Dadurch bleibt das Flaggschiff flexibel und kann auf Verände-

rungen in dem dynamischen Forschungsfeld reagieren.

Details, wie konkrete Projekte aussehen könnten, gibt der Bericht nicht vor. Diese legt erst die Europäische Kommission mit dem offiziellen Aufruf zur Antragstellung fest. Die Expertengruppe macht lediglich Vorschläge, die sicherstellen sollen, dass das breite und dezentralisierte Förderinstrument zu fokussierten und miteinander verknüpften Einzelprojekten führt.

Freie Fahrt ab 2019

Die erste Antragsfrist ist gerade abgelaufen: Bis Ende Februar konnten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in jeder der vier Säulen sowie für die Grundlagenforschung Anträge für die dreijährige Startphase des Flaggschiffs einreichen. Um sie europaweit zu vernetzen, hat die Europäische Kommission gefordert, dass sich mehrere Institute aus verschiedenen Ländern für einen Antrag zusammentun. In jeder der vier Säulen sollten diese Konsortien nicht nur Forschungsziele formulieren, die von europäischer Seite mit bis zu 10 Millionen Euro Fördermitteln erreichbar sind. Wichtig war auch die Frage, wie es innerhalb des Konsortiums ge-



Supraleitende Qubits könnten die Basis von Quantencomputern werden.

plant ist, Institute, Forschungseinrichtungen und Unternehmen zu vernetzen. „Ziel ist es, dass die Synergien über die Startphase hinaus wirken können“, sagt Jürgen Mlynek. Bis zum Jahresende wird feststehen, welche Konsortien sich im kommenden Jahr über den Geldsegen aus Brüssel freuen dürfen.

Aus den Arbeiten während der dreijährigen Startphase sollen sich

auch konkrete Forschungsziele für die anschließenden sieben Jahre ergeben. Denn die Expertengruppe hat zwar im Abschlussbericht Meilensteine für sechs beziehungsweise zehn Jahre vorgegeben – festlegen will sie diese Ziele derzeit aber noch nicht. „Wir wollten eine ambitionierte Agenda aufstellen, ohne Resultate zu versprechen, die am Ende nicht einzulösen sind“, beschreibt Mlynek die Idee dahinter. Dennoch spricht der Bericht auch Punkte an, die über die zehnjährige Laufzeit des Flaggschiffs hinausreichen, beispielsweise wenn es darum geht, Forschungsinfrastrukturen aufzubauen und sie den Nutzern langfristig zur Verfügung zu stellen.

Über die bloße Vergabe der Mittel hinaus soll das Flaggschiff breiten Einfluss in Wissenschaft, Ökonomie und Gesellschaft gewinnen. Beispielsweise ist ein Ziel, die Strategien der Mitgliedsstaaten zur Förderung der Quantentechnologien so auszurichten, dass sich regionale, nationale und europäische Maßnahmen in Zukunft optimal ergänzen. Europäische Staaten, die Quantentechnologien bisher noch nicht nennenswert unterstützt haben, sollen durch das Flaggschiff Anreize für eigene Investitionen erhalten. Deutschland, das schon seit Jahren regelmäßig nationale Fördermittel in Höhe mehrerer zehn Millionen Euro zur Verfügung

stellt, hat geplant, seine Programme zu erweitern. „Über die Laufzeit des Flaggschiffs könnten die deutschen Investitionen sich auf 400 bis 500 Millionen Euro summieren“, ist Jürgen Mlynek überzeugt.

Mehr als Quantencomputer

Wichtig ist es aber auch, die Öffentlichkeit vom Nutzen der Quantentechnologien zu überzeugen, indem alltagsbezogene Anwendungen, wie es sie in der Sensorik gibt, bekannter gemacht werden. Denn heute ist zwar der Begriff des Quantencomputers auch jenseits von Science Fiction geläufig. In Form eines Laptops wird es diesen in naher Zukunft aber nicht geben, stellt Jürgen Mlynek klar. „Am Ende der zehn Jahre wäre es ein tolles Ergebnis, wenn auf 50 bis 100 Qubits allgemeine Quantenalgorithmen liefen.“ Gemäß dem Shor-Algorithmus ließen sich damit Zahlen mit mehr als 20 Stellen faktorisieren – das kann heute jeder Rechner in vertretbarer Zeit leisten. Bevor also Quantencomputer unseren Alltag revolutionieren, werden wohl die vielfältigen Anwendungen von Quantensensoren darin Einzug halten. Sensorikunternehmen wie Bosch haben bereits Interesse signalisiert, die neue Technik zu produzieren und zu vermarkten.

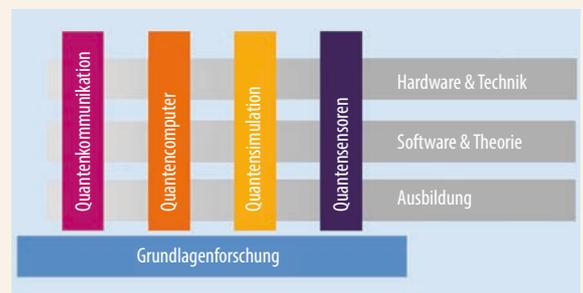
QUANTUM TECHNOLOGIES FLAGSHIP

Das Quantum Technologies Flagship ist neben dem Human Brain Project und dem Graphene Flagship das dritte Flaggschiff im Bereich „Future and Emerging Technologies – FET“ der Europäischen Kommission. In einem Flaggschiff arbeiten mehrere hundert Forscherinnen und Forscher zusammen. Für zehn Jahre stehen eine Milliarde Euro aus europäischen und nationalen Mitteln zur Verfügung, die innerhalb des Flaggschiffs in mehreren Ausschreibungen vergeben werden.

In der **Strategie** des Quantum Technologies Flagship sollen industrielle Anwendungen in vier Säulen erschlossen werden (Abb.). Der Bereich Grundlagenforschung steht darüber hinaus neuen Ideen und Konzepten offen, die noch ohne unmittelbaren Anwendungsbezug sind. Der Abschlussbericht

der High-Level Steering Group enthält für jede der Säulen Meilensteine, die zum Ende der Startphase (drei Jahre) sowie nach sechs Jahren und am Ende der Förderung (zehn Jahre) aus heutiger Sicht erreichbar scheinen.

Bei der **Umsetzung** der Strategie empfiehlt die Expertengruppe, eine Reihe einzelner Projekte in den Säulen zu starten, die über die Bereiche Hardware und Technik, Software, Algorithmen und Theorie sowie Ausbildung und Nachwuchsförderung eng vernetzt sind. Die Zusammenarbeit mit natio-



nalen Initiativen und die Öffentlichkeitsarbeit sollen zentral koordiniert werden.

Zur **Administration** des Flaggschiffs werden verschiedene Organe vorgeschlagen. Mit Abschluss der Startphase soll das Modell überarbeitet und an die Strukturen angepasst werden, die sich bis dahin ausgebildet haben.