

Quantensensoren – Auf dem Weg in die Anwendung

- Quantensensoren nutzen mikroskopische atomare Magnete wie einen Kompass, um extrem schwache magnetische Felder zu messen, oder Materiewellen, um Beschleunigungen nachzuweisen.
- Sie übertreffen herkömmliche Sensoren in Empfindlichkeit, Raum- und Zeitauflösung.
- Anwendungen finden sie beispielsweise in der Erdbeobachtung, in der Navigation, in der Materialprüfung sowie in der chemischen oder biomedizinischen Analytik.

Das akkurate Messen physikalischer Größen ist maßgebliche Triebfeder technischer Entwicklungen. Quantensensoren bestehen hier mit bisher unerreichter Empfindlichkeit und Auflösung. Ein Paradebeispiel ist die präzise Messung der Zeit mit Atomuhren. Sie ist eine Grundvoraussetzung für die exakte Navigation über Satelliten, was zum Beispiel für das autonome Fahren unabdingbar ist.

Derzeit entwickeln Physikerinnen und Physiker zwei Arten von Quantensensoren: Atomare Materiewellen eignen sich hervorragend z. B. für Interferometer, um

Rotationen oder Beschleunigungen zu messen. Dagegen werden Festkörperquantensensoren gezielt mit Fremdatomen bestückt, die im Kristall als mikroskopische Kreisel eingebaut werden und Magnetfelder wie winzige Kompassnadeln anzeigen.

Die Festkörperquantensensoren weisen Magnetfelder, Druck oder Temperaturen nach und versprechen winzige Bauformen ebenso für Beschleunigungs- oder Lagesensoren [1]. Die Sensorelemente lassen sich bis auf wenige Nanometer verkleinern [2]. Sie lassen sich ferner unter rauen Umgebungsbedingungen sowie in lebenden Zellen oder Organismen betreiben. Die Sensorelemente eignen sich somit für die biomedizinische Analytik oder in der Zell- und Mikrobiologie (Abb. 1). Erste Versuche zeigen, dass sich die Magnetresonanztomographie



Dieter Meschede, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

„Quantensensoren gehört die Zukunft. Insbesondere in der Medizintechnik und Erdbeobachtung werden sie die räumliche Auflösung und Messgenauigkeit enorm steigern.“

beispielsweise um mehr als zehn Größenordnungen steigern ließe [3].

Atomare Beschleunigungssensoren hingegen nutzen lasergekühlte Materiewellen aus Atomen. Laser teilen auch die atomaren Wellenpakete und sorgen wie Spiegel und Strahlteiler für Reflexion und Interferenz (Abb. 2). Aus dem Interferenzsignal lassen sich Beschleunigungen und Rotationen entnehmen.

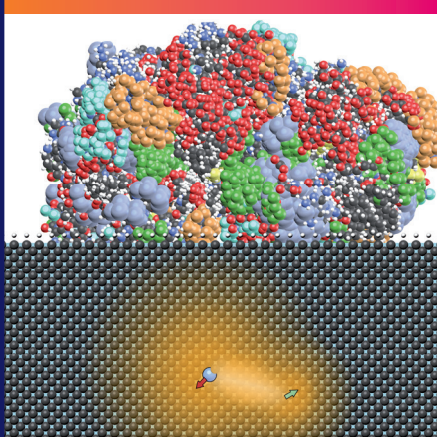
Diese Sensoren eignen sich als Messgeräte für die Schwerebeschleunigung (Gravimetrie) (Abb. 3) sowie für Rotationen und weisen oft eine höhere Empfindlichkeit auf als konventionelle Sensoren wie z. B. Faserkreisel. Sie könnten die Suche nach Lagerstätten und Rohstoffvorkommen revolutionieren sowie die Beobachtung natürlicher Ressourcen, inklusive des Grundwasserspiegels oder die Beschaffenheit von Böden, und sie eignen sich ebenso für die Navigation.

Mit ersten kommerziellen Quantengravimetern zur Messung der Schwerebeschleunigung ist ein wichtiger Schritt gelungen. Technologische Weiterentwicklung ist gefordert, um diese Sensoren kleiner und robuster für alltägliche Anwendungen zu machen und sie für den Einsatz z. B. auf Flugzeugen, Schiffen oder unter Tage tauglich zu machen.

Referenzen:

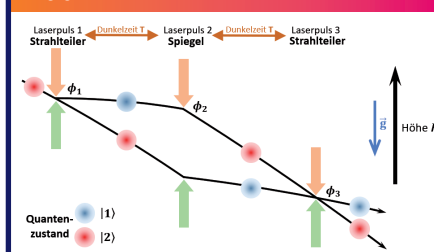
- [1] C. Degen, F. Reinhard, Cappellaro P. Quantum Sensing Rev. Mod. Phys. 89, 035002 (2017)
- [2] G. Balasubramanian et al. Nature, 455, 648 (2008); S. Steinert et al. Nature Com. 4, 1607 (2013)
- [3] N. Aslam, M. Pfender, P. Neumann, J. Wrachtrup et al. Science 357, 67 (2017)
- [4] Freier et al. Journal of Physics: Conference Series, 723:12050, 2016

Abb. 1



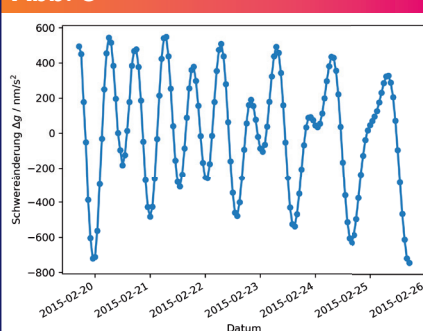
Quantensensor aus Diamant. Roter Pfeil: Elektronenspin des Defekts im Kristallgitter des Diamanten, der für den Nachweis des Proteins genutzt wird. Blauer Pfeil: Ein Kernspin innerhalb des Diamanten. Er dient der Verbesserung der Empfindlichkeit des Verfahrens sowie als Quantenspeicher. (Quelle: Universität Stuttgart)

Abb. 2



Prinzip eines Atominterferometers mit Licht-Strahlteilern (Quelle: PTB).

Abb. 3



Lokale Gravitationsänderung auf Grund der Gezeiten, gemessen mit einem mobilen Quantengravimeter am Onsala Space Observatory in Schweden [4]. (Quelle: <https://www.physics.hu-berlin.de/en/qom/research/ai>)

Deutsche Physikalische Gesellschaft

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit mehr als 60.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Studierende, Lehrerinnen und Lehrer, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwälte oder Wissenschaftsjournalisten. Gegenwärtig hat die DPG neun Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.



Die Quantentechnologie-Initiativen der EU und des BMBF

Im Rahmen des Programms Future and Emerging Technologies startete die Europäische Union im Jahr 2018 das Quantum-Flagship als eine der größten und ambitioniertesten Forschungsinitiativen. Das Quantum-Flagship ist mit einem Budget von einer Milliarde Euro ausgestattet und hat eine Laufzeit von zehn Jahren. Hauptziel der Initiative ist es, die wissenschaftliche Führung und Exzellenz Europas auf diesem Forschungsgebiet zu festigen und auszubauen sowie die quantenphysikalische Forschung vom Labor auf den Markt zu bringen.

Bereits im September 2018 beschloss die Bundesregierung darüber hinaus das Förder-Rahmenprogramm „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ mit einem Umfang von 650 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung. Ziel ist, die Entwicklung der Quantentechnologien in Deutschland strategisch voranzutreiben. Deutsche Institute und Unternehmen sollen die sogenannte zweite Quantenrevolution maßgeblich mitgestalten und eine führende Rolle beim Transfer in die Anwendung und Vermarktung übernehmen. Das Rahmenprogramm definiert die Ausgangslage und skizziert Ziele und Maßnahmen bis 2022.



Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Geschäftsstelle Tel.: 02224 / 92 32 - 0
Hauptstraße 5 Fax: 02224 / 92 32 - 50
53604 Bad Honnef E-Mail: dpg@dpg-physik.de

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft dankt Jörg Wrachtrup von der Universität Stuttgart und Tanja E. Mehlstäubler von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt für die wissenschaftliche Beratung.