

# „Deutschland ist weltweit ganz vorn dabei“

**SENSORIK:** Mit Quantensensoren gelingen mit einem einzigen Qubit hochpräzise Messungen. Jens Anders, Direktor des Instituts für Intelligente Sensorik an der Universität Stuttgart, beschreibt, welche Anwendungsmöglichkeiten sich ergeben.

VON EVE TSAKIRIDOU

## VDI NACHRICHTEN: Wie funktioniert das Grundprinzip der Q-Sensorik?

**ANDERS:** Das Funktionsprinzip von Quantensensoren basiert auf sogenannten Quantenbits oder kurz Qubits. Das sind Quantensysteme mit zwei beobachtbaren Energieniveaus. Die Messgröße verändert dabei den Abstand der Energieniveaus. Nach Planck entspricht diese Energieänderung einer Frequenzänderung der vom Qubit absorbierten Photonen. So kann die Messgröße häufig als Frequenzänderung gemessen werden. Die immense Genauigkeit der Quantensensoren kommt also zum einen aus der Tatsache, dass die Energieniveaus häufig mit hoher Empfindlichkeit auf die Messgröße reagieren, und zum anderen aus der Tatsache, dass wir Frequenzänderungen unglaublich präzise auslesen können.

## Wenn es um Grundmaterialien für Q-Sensoren geht, fällt die Wahl bisher oft auf Diamanten.

Grundsätzlich gibt es viele verschiedene Qubits, die als Quantensensoren eingesetzt werden können. Zielt man auf eine einfache Integration der Sensoren in (Massen-)Produkten ab, sollten die Qubits auch bei Raumtemperatur gute Kohärenzeigenschaften haben. Das schränkt die Wahl der möglichen Kandidaten weitestgehend auf Gase, also atomare bzw. molekulare Qubits in Gasen, und Festkörperdefekte ein. Bei Letzteren handelt es sich um künstlich eingebrachte Dotieratome bzw. Fehlstellen in Festkörpern. Gase weisen dabei in der Regel die besseren Quanteneigenschaften auf. Sie liefern also bessere Sensoren, sind aber nicht so leicht integrierbar. Festkörperdefekte sind umgekehrt oftmals etwas schlechtere Sensoren, lassen sich aber sehr gut integrieren.

## Wo steht die Grundlagenforschung bei dem Thema?

Sie hat bereits einige sehr spannende Quantensensoren der zweiten Generation hervorge-

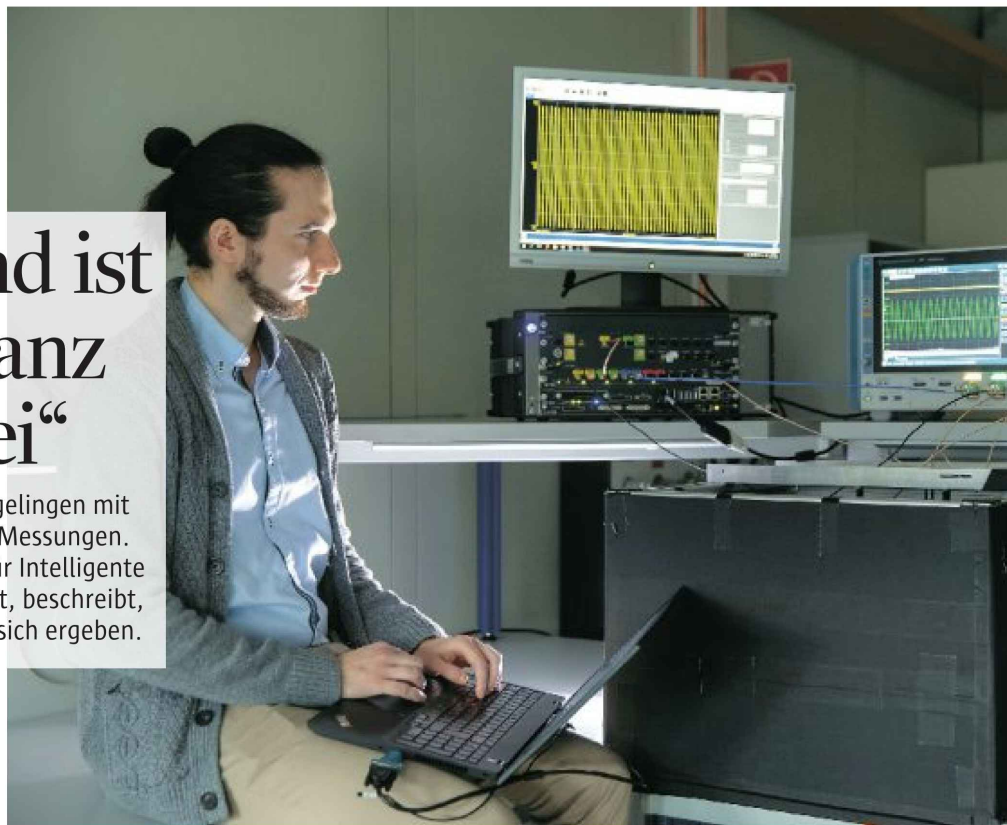


Foto: Uni Stuttgart/ULI Regenscheid Fotografie

**In den studentischen Laboren** und Werkstätten der Universität Stuttgart am Campus Stuttgart-Vaihingen wird u. a. an Quantensensoren geforscht.

bracht, die derzeit in den Markt eingeführt werden. Hierzu zählen beispielsweise optisch gepumpte Magnetometer – sogenannte OPMs –, in denen Qubits in der Gasphase sehr präzise Magnetfelder messen können. Ein weiteres Beispiel sind Rydberggase, die als hochpräzise Spurengassensoren eingesetzt werden können. Und schließlich gibt es auch die erwähnten Quantensensoren, basierend auf Stickstoff-Fehlstellen in Diamanten. Damit lassen sich hochpräzise Magnetfeldmessungen durchführen, aber auch Temperaturen, Drücke und elektrische Felder messen. Zu den neueren Entwicklungen zählen zum Beispiel Farbzentren in Siliziumkarbid, einem Material, das in der Halbleitertechnik bereits im großen Maßstab genutzt wird und daher die Hoffnung auf zukünftig hochskalierbare Quantensensoren nährt.

## Welche Anwendungsgebiete kommen für diese Sensoren in Frage?

Hier in Stuttgart nutzen wir gemeinsam mit industriellen Partnern und der Charité in Berlin sowie der Uniklinik Tübingen OPMs und diamantbasierte Sensoren für die Messungen der Magnetfelder neuronaler Signale. Wir wollen damit mittelfristig Prothesen über noch vorhandene Muskelsignale steuern und langfristig hochgenaue und langzeitstabile Mensch-Maschine-Schnittstellen bereitstellen.

## Die Medizintechnik scheint ein vielversprechendes Einsatzgebiet zu sein.

Der Vorteil der Quantensensoren liegt darin, dass sie empfindlich und vor allem präzise genug sind, um die winzigen Magnetfelder der neuronalen Signale zuverlässig erfassen zu können. So weisen die Magnetfelder des Gehirns auf der Schädeldecke nur Feldstärken im Bereich von einigen Zehn Femtotesla auf. Das entspricht ungefähr dem einmilliardsten Teil des Erdmagnetfelds. Außerdem untersucht unsere Arbeitsgruppe gemeinsam mit einem Diagnosegerätehersteller, wie sich diamantbasierte Quantensensoren nutzen lassen, um Biomarker wie freie Radikale in Körperflüssigkeiten genau quantifizieren zu können. Damit könnte der Gesundheitszustand eines Menschen gemessen werden, denn die Konzentration bestimmter freier Radikale korreliert direkt mit verschiedenen Krankheitsbildern.

## Gibt es auch Anwendungen für die Industrie?

In diesem Bereich können Quantensensoren z. B. die derzeit überall diskutierten „Ewigkeitschemikalien“ im Abwasser quantifizieren. Außerdem kann die Messung freier Radikale zum Beispiel in der Qualitätskontrolle der Kunststoffindustrie eingesetzt werden. Weitere Möglichkeiten eröffnen sich mit diamantbasierten Drucksensoren.

## Wann rechnen Sie mit ersten Anwendungen?

Erste Quantensensoren sind für Spezialanwendungen und in kleinen Stückzahlen bereits heute auf dem Markt. Wir gehen davon aus, dass die ersten skalierbaren Quantensensoren in größeren Stückzahlen in den nächsten drei bis fünf Jahren auf den Markt kommen.

## Wie ist Deutschland auf dem Gebiet der Q-Sensorik im internationalen Vergleich aufgestellt?

Deutschland ist weltweit ganz vorn dabei. Und um unsere Spitzenposition in dieser Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts nicht nur zu verteidigen, sondern sogar auszubauen, haben wir das Zukunftscluster QSens initiiert.

## Das Zukunftscluster QSens

- Bei der Initiative QSens haben sich die Universitäten Stuttgart und Ulm, das Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS CHIPS), die Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. in Stuttgart sowie etwa 20 Industriepartner zusammengeschlossen.
- Gemeinsam entwickeln die Partner dort hochpräzise, skalierbare Quantensensoren für Industrie und Endkunden, die über eine Empfindlichkeit am Rande des theoretisch Möglichen verfügen.
- Geplant sind Anwendungen für die Bereiche Industrie 4.0, Mobilität, erneuerbare Energien sowie Medizingeräte der nächsten Generation.
- [www.q-sens.org](http://www.q-sens.org)

## Jens Anders

- ist seit 2017 Inhaber des Lehrstuhls für Elektrotechnik Bionischer Systeme und Direktor des Instituts für Intelligente Sensorik und Theoretische Elektrotechnik an der Universität Stuttgart.
- ist Sprecher des BMBF-Zukunftsclusters „QSens – Quantensensoren der Zukunft“.
- promovierte 2011 an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).