

Presseinformation

22. Oktober 2026 Seite 1 | 4

Durchbruch in der laserverstärkten Quantensorik

NV-Diamant-Lasersystem misst Magnetfelder erstmals optisch mit maximalem Kontrast

Forschende des Fraunhofer IAF haben einen laserverstärkten Quantensensor entwickelt, der Magnetfelder mit bisher unerreichter Kombination aus Empfindlichkeitslimit und Dynamikbereich erfasst: Mit ihrem Ansatz der Laserschwellen-Magnetometrie konnten sie im Verhältnis dieser Größen einen Verbesserungsfaktor von bis zu 590 gegenüber dem aktuellen Stand der Technik nachweisen. Ermöglicht wurde dies durch das erstmalige Erreichen von 100 Prozent optischem Kontrast in Kombination mit starken Laser-Messsignalen. Die im Fachjournal *Nature Communications* veröffentlichten Ergebnisse eröffnen neue Perspektiven für die medizinische Diagnostik, Navigation und Rohstofferkundung.

Magnetfeldsensoren auf Basis von Stickstoff-Fehlstellen-Zentren in Diamant, kurz NV-Zentren, zählen zu den wichtigsten Festkörper-Quantensensoren. Sie arbeiten bei Raumtemperatur, lassen sich kompakt integrieren und können neben der Stärke auch die Richtung eines Magnetfelds bestimmen (Vektormagnetometrie). Jüngste Fortschritte haben ihre Empfindlichkeit bis in den Sub-pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ -Bereich verbessert, sodass sie nun ungefähr in der Größenordnung liegt, die für die Messung von Herzsignalen erforderlich ist. Bislang mussten Forschende jedoch stets einen Kompromiss eingehen: Sensoren mit sehr hoher Empfindlichkeit besaßen nur einen sehr kleinen Dynamikbereich, während robustere Varianten mit einem großen Dynamikbereich deutlich unempfindlicher waren.

Mit der Laserschwellen-Magnetometrie verfolgen die Forschenden am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF einen Ansatz, der diesen Zielkonflikt entschärft und ein hohes Empfindlichkeitslimit mit einem großen Dynamikbereich verbindet: Die NV-Zentren in Diamant werden direkt als optisches Element in den Resonator eines Lasers integriert, wo sie als magnetfeldabhängiger Verlustkanal fungieren. Statt der NV-Fluoreszenz lesen die Forschenden das Lasersignal des Systems aus.

Erstmals 100 Prozent optischer Kontrast

In der aktuellen Veröffentlichung demonstrieren die Forschenden ein solches Laserschwellen-Magnetometer mit zwei Medien. Durch die starke Kopplung der NV-Zentren an das Lichtfeld in der Kavität reagieren die Eigenschaften des kombinierten Sensors empfindlich auf Magnetfeldänderungen. Das Lasersystem erreicht so einen optischen Kontrast von 100 Prozent statt der für die NV-Magnetometrie typischen wenigen Prozent und liefert gleichzeitig ein robustes, kohärentes Lasersignal mit einer Leistung von bis zu 50 Milliwatt, verglichen mit den deutlich schwächeren NV-Fluoreszenzsignalen.

Diese Kombination aus hohem Kontrast und starkem Signal führt zu einer Empfindlichkeit von unter $400 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ für alle drei Komponenten des Magnetfeldvektors, sofern das Limit des Photonenschrottauschs als dominierende Rauschquelle angenommen wird. Zudem zeigten die Forschenden erstmals experimentell, dass sich dieses Empfindlichkeitslimit bei Annäherung an einen optischen Kontrast von 100 Prozent überlinear mit dem optischen Kontrast verbessert.

22. Oktober 2026 Seite 2 | 4

Bis zu 590-fache Verbesserung im Vergleich zum Stand der Technik

Entscheidend ist das Verhältnis zwischen Empfindlichkeitslimit und Dynamikbereich, da sich beide Größen typischerweise nur zulasten des jeweils anderen verbessern lassen. Im Vergleich zu herkömmlichen fluoreszenzbasierten NV-Sensoren und Gaszellen-Magnetometern erreicht das NV-Diamant-Lasersystem eine Verbesserung dieses Verhältnisses um den Faktor bis zu 590 bei gleichzeitig erhaltener Vektorfähigkeit.

»Mit unserem Ansatz können wir potenziell einen Zielkonflikt lösen, der die Entwicklung und Anwendungen von Magnetfeldsensoren lange limitiert hat. Damit rückt eine neue Generation mobiler, hochempfindlicher Magnetfeldsensoren in greifbare Nähe«, erklärt Florian Schall, Erstautor des Papers und Quantensensorik-Forscher am Fraunhofer IAF.

Dr. Jan Jeske, Leiter der Gruppe Quantensensorik am Fraunhofer IAF, hatte die Idee, mit einem NV-Diamant ein magnetfeldabhängiges Lasersystem zu realisieren, bereits vor etwa 10 Jahren erstmals theoretisch durchgerechnet. »Die Verbesserung von mehreren Größenordnungen für die Sensorik hat uns motiviert, die Laserswellen-Magnetometrie langfristig weiterzuverfolgen. Es macht mich sehr glücklich, zu sehen, dass die magnetfeldabhängige Verschiebung der Laserschwelle nun experimentell vollständig nachgewiesen wurde«, so Jeske.

Potenzielle Einsatzfelder für diese Quantensensoren umfassen die Untersuchung von Herz-, Muskel- und Hirnaktivität, die Magnavigation sowie die Detektion magnetischer Anomalien, etwa bei der Rohstofferkundung oder Sicherheitstechnik.

Über die Publikation

Die Veröffentlichung »Laser-enhanced quantum sensing boosts sensitivity and dynamic range« ist in der Fachzeitschrift *Nature Communications* erschienen. Beteiligt waren Forschende des Fraunhofer IAF, der Twenty-One Semiconductors GmbH, des College of Staten Island (CUNY, USA), der National Institutes for Quantum Science and Technology (Japan) sowie der RMIT University (Australien).

Die Arbeit entstand im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) geförderten Leuchtturmprojekts »Laserswellen-Magnetometer für neuronale Kommunikationsschnittstellen«, kurz NeuroQ.

Das NeuroQ-Konsortium entwickelt Quantensensoren, die künftig Hirnaktivität erfassen und über eine Gehirn-Computer-Schnittstelle an Exoskelette übertragen sollen. So sollen Menschen mit Lähmungen Exoskelette per Gedanken steuern und Mobilität zurückgewinnen können.

Mehr Informationen zum Projekt erhalten Sie auf der Projektwebseite: www.neuroq.de

Über das Fraunhofer IAF

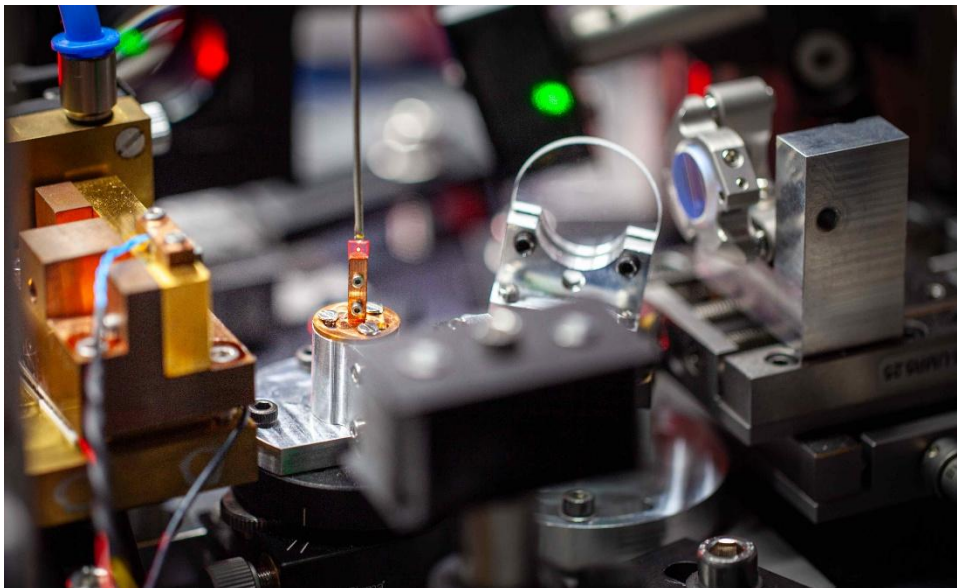
22. Oktober 2026 Seite 3 | 4

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF ist eine der weltweit führenden Forschungseinrichtungen auf den Gebieten der III/V-Halbleiter und des synthetischen Diamanten. Auf Basis dieser Materialien entwickelt das Fraunhofer IAF Bauelemente für zukunftsweisende Technologien, wie elektronische Schaltungen für innovative Kommunikations- und Mobilitätslösungen, Lasersysteme für die spektroskopische Echtzeit-Sensorik, Hardware-Komponenten für Quantencomputer sowie Quantensensoren für industrielle Anwendungen. Mit seinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten deckt das Freiburger Forschungsinstitut die gesamte Wertschöpfungskette ab – angefangen bei der Materialforschung über Design und Prozessierung bis hin zur Realisierung von Modulen, Systemen und Demonstratoren.

<https://www.iaf.fraunhofer.de/>

Publikation

Schall, F., Lindner, L., Rottstaedt, Y. *et al.* Laser-enhanced quantum sensing boosts sensitivity and dynamic range. *Nat Commun* 17, 10825 (2026).
<https://doi.org/10.1038/s41467-026-78386-z>



Das NV-Diamant-Lasersystem kann durch die starke Kopplung der rot leuchtenden NV-Zentren in Diamant (Mitte) an das vom Halbleiterlaser (links) erzeugte Kavitätsfeld durch eine Magnetfeldänderung ausgeschaltet werden. Dadurch wird ein optischer Kontrast von 100 Prozent in Kombination mit starken Laser-Messsignalen erreicht.

© Fraunhofer IAF

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Die rund 30 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,6 Mrd. €. Davon fallen 3,2 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.

Kontakt

Jennifer Funk

Fraunhofer-Institut für Angewandte
Festkörperphysik IAF
Marketing und Kommunikation
Tel. +49 761 5159-418
jennifer.funk@iaf.fraunhofer.de

Florian Schall

Fraunhofer-Institut für Angewandte
Festkörperphysik IAF
Gruppe Quantensensorik
Tel. +49 761 5159-473
florian.schall@iaf.fraunhofer.de

Dr. Jan Jeske

Fraunhofer-Institut für Angewandte
Festkörperphysik IAF
Gruppenleitung Quantensensorik
Tel. +49 761 5159-265
jan.jeske@iaf.fraunhofer.de

www.iaf.fraunhofer.de

