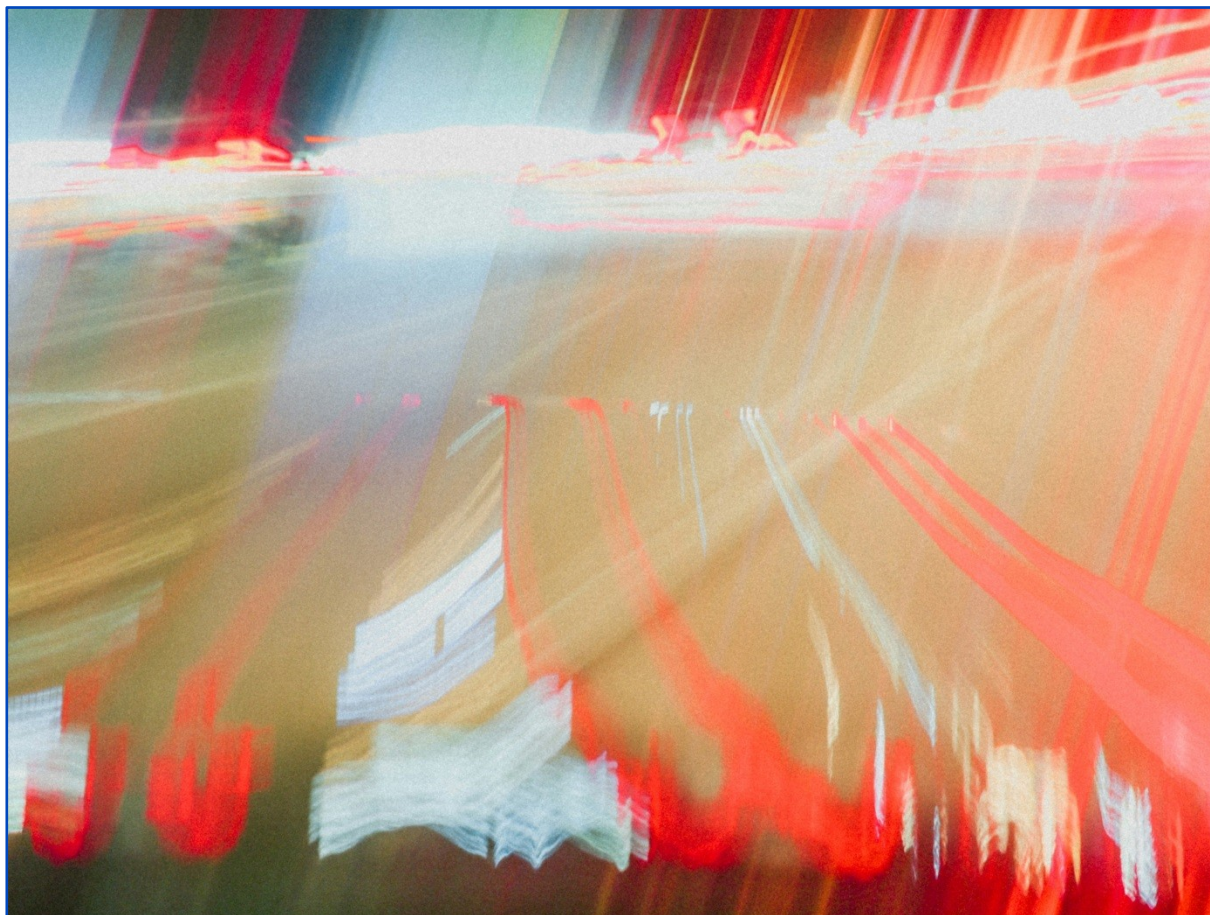


QUANTENSENSOREN



© CC0 (Brandon Griggs)

ZUSAMMENFASSUNG

Quantensensoren nutzen Quantenphänomene zur Messung von Schwerkraft, Magnetfeldern und Beschleunigung. Da Quantenzustände extrem empfindlich gegenüber Änderungen ihrer Umwelt sind, führt das zu deutlich präziseren Messergebnissen. Quantensensoren können damit genauere Navigation ohne Satelliten, die Erkundung des Erdreichs ohne Bohrungen und die Beobachtung kleinster Bewegungen in Zellen ermöglichen. Wer diese Fähigkeiten nutzen kann, könnte gegenüber anderen Akteuren einen signifikanten Vorteil haben, den sogenannten „Quantum Advantage“. Dadurch gewinnen Quantensensoren an geopolitischer und militärischer Brisanz. Quantensensoren könnten neue Formen der Überwachung ermöglichen. Da Quantensensoren große Vorteile, aber auch große Nachteile mit sich bringen können, besteht Bedarf an guter Begleitung und gesellschaftlicher Debatte. Da die Technologien weiter fortgeschritten sind als Quantencomputer und Quantenkommunikation, wäre dafür jetzt ein guter Zeitpunkt.

*Deutlich präzisere
Messungen*

*Viele Chancen
und Risiken*

*Zeitpunkt für breite
gesellschaftliche
Debatte günstig*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Quantensensoren sind ein Teilbereich der *Quantentechnologie*. Wie Quantenkommunikation und -computing nutzen solche Sensoren Phänomene der Quantenmechanik – in diesem Fall, um Messungen mit einer Präzision zu ermöglichen, die mit herkömmlichen Methoden nicht erreichbar ist. Sie eignen sich insbesondere zur Messung von Zeit, Temperatur, Entfernungen, Schwerkraft und elektromagnetischen Feldern (GAO, 2025). Damit sind sie für vielfältige Einsatzfelder relevant, von Industrie über Medizin bis hin zu Wissenschaft und Militär.

Quantenphänomene zur Messung nutzen

Quantensensoren machen sich die Eigenschaft zunutze, dass Quantenzustände von Partikeln extrem empfindlich auf Änderungen ihrer Umgebung reagieren (Bongs et al., 2023). Dank der extremen Sensitivität sind kleinere und genauere Atomuhren, durch Nebel und um die Ecke sehende Kameras, Sensoren zur Bodenerkundung, Bildgebung in der Medizin und zur Navigation ohne Satellitennavigationssysteme wie GPS möglich (Bongs et al., 2023; GAO, 2025; Schmidt et al., 2025). Im Vergleich zu anderen Quantentechnologien sind Quantensensoren in der Entwicklung weit fortgeschritten: Es gibt viele funktionierende Sensoren in Laboren, manche Anwendungen, wie etwa Photonendetektoren und Atomuhren, sind bereits kommerziell erhältlich (Bongs et al., 2023; OECD, 2025).

Extrem empfindliche Sensoren

Doch wie lassen sich diese Sensoren praktisch vorstellen? Wie erwähnt, reagieren Quantenphänomene extrem sensibel, z. B. auf die Schwerkraft und Magnetfelder – auch jenes der Erde. Diese Sensoren reagieren damit auch auf unterschiedliche Bodenzusammensetzungen: Unterirdische Wasserreservoirs und -ströme, Ressourcenvorkommen sowie Höhlen und Tunnel verändern die Schwerkraft minimal. Mit Quantensensoren können diese Unterschiede wahrgenommen werden und z.B. Vulkanaktivität, Wasserhaushalt, Tunnel, archäologische Stätten und Mineralvorkommen erkannt und gefunden werden – und das ohne Probebohrungen und Grabungen (GAO, 2025; Schmidt et al., 2025).

Schwerkraft, Magnetfelder für unterirdische Messungen

Eine andere vielversprechende Anwendung ist die Navigation: Mobile Quantennavigationssensoren können Positionsänderungen präzise nachverfolgen, indem sie minimale Änderungen der Schwerkraft, der Magnetfelder und der Beschleunigung tausendmal genauer erkennen als herkömmliche Methoden (Bongs et al., 2023). Bereits heute können die Sensoren etwa in Smartphones und Sportuhren mithilfe von Beschleunigungssensoren, Kompassen und hochentwickelten Algorithmen erkennen, wie man sich bewegt – damit wird beispielsweise Stiegensteigen oder Aufstehen aus dem Sitzen erkannt. Mit Quantensensoren ließe sich die bisherige Messgenauigkeit signifikant verbessern. Es wurde theoretisch gezeigt, dass sie, eingebettet in eine entsprechende neue Infrastruktur, als Navigationssystem eine präzisere Alternative zum traditionellen GPS sein könnten (Li et al., 2026) – oder eine Ergänzung dazu, falls GPS-Signale gestört oder nicht empfangbar sind (z. B. wegen *überfülltem Orbit*), sei es aufgrund gezielter Störungen (*Jamming*), Wetterphänomenen, der Topografie oder aufgrund der Abschirmung durch Wasser.

Quantensensoren zur Navigation ohne Satelliten

Auch in der Medizin gibt es große Hoffnungen, dass bildgebende Verfahren durch Quantensensorik präziser werden können. Magnetresonanztomografie (MRT) könn-

Bildgebung in der Medizin

te etwa durch neue Quantentechnologien 10.000-fach genauer werden, und durch die Erkennung winziger Magnetfelder ließen sich Stoffwechselprozesse im Herz-Kreislauf-System besser diagnostizieren.¹ Aber auch kleinste Bewegungen in Zellen könnten damit sichtbar gemacht werden (Ramelet, 2026).

Im Umwelt- und Klimabereich könnten Quantensensoren für genaueres Umweltmonitoring eingesetzt werden – um z. B. Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen besser zu erkennen. Damit könnten sie dazu beitragen, bessere Grundlagen für Klimaprognosen, Risikoszenarien und Adaptionstrategien bereitzustellen (Ferreira & Lagercrantz, 2026). Bei der Überwachung von Stromnetzen und anderen Infrastrukturen können Quantensensoren wichtige Funktionen übernehmen (z. B. die Temperaturüberwachung in den Netzen). Auch das Auffinden vielversprechender geothermischer Energiequellen lässt sich durch Quantensensoren vereinfachen (Ferreira & Lagercrantz, 2026).

*Luftverschmutzung
und Treibhausgase
erkennen*

Trotz vielversprechender Fortschritte und des großen Anwendungsspektrums stehen Quantensensoren noch vor einigen Herausforderungen, die den breiten Einsatz behindern. Teils ergeben sie sich aus der hochsensiblen Natur von Quantenphänomenen, die Quantensensoren so präzise, aber eben auch anfällig gegenüber Störungen und Rauschen machen (Matissek et al., 2025). Oft benötigen sie weiters hochspezialisierte Gerätschaften, die teils extremen Strombedarf haben, teils hochpräzise optische Instrumente nutzen oder Kryotechnik zur Herstellung ausreichend niedriger Temperaturen voraussetzen (Oh et al., 2024; Schmidt et al., 2025). Damit sind viele Aspekte der Quantensensorik (wie bei anderen Quantentechnologien auch) eng verbunden mit Fortschritten in anderen Technologiebereichen (Schmidt et al., 2025) und weitere werden notwendig sein, um die Sensoren ausreichend klein und robust zu konstruieren, damit sie außerhalb von Laboren und insbesondere mobil nutzbar sind.

*Herausforderungen
für den praktischen
Einsatz*

Aufgrund ihrer um mehrere Größenordnungen präziseren Messungen können Quantensensoren disruptive Veränderungen auslösen, sobald sie außerhalb von Laboren in größerem Umfang einsatzfähig sind. Für Akteure mit Zugang zu diesen neuen Technologien entsteht ein sog. Quantum Advantage mit schlagartig auftretenden Vorteilen (Schmidt et al., 2025). Teilweise werden in diesem Kontext Analogien zu ChatGPT und anderen großen Sprachmodellen gezogen, deren großflächige Verbreitung innerhalb kurzer Zeit zu weitreichenden Veränderungen auf vielen Ebenen geführt hat, da genuin neuartige Möglichkeiten entstanden sind. Dabei wird die Verfügbarkeit von Quantentechnologien mutmaßlich nicht im gleichen Maßstab wie generative KI gewährleistet sein, womit der Vorteil wenigen Akteuren vorbehalten bleiben wird. Auch handelt es sich bei Quantensensoren eher nicht um eine Technologie, die sich an Endverbraucherinnen und Endverbraucher richtet (Schmidt et al., 2025).

*Disruptive neue
Möglichkeiten*

Besonders heikel können die Auswirkungen von Quantensensoren im militärischen Bereich sein (Brooksby et al., 2025; Matissek et al., 2025): Die Aufklärung könnte signifikante Fortschritte machen, etwa indem militärisches Material (Raketen, U-Boote) und Infrastruktur (Bunker, Tunnelsysteme) leichter lokalisiert

*Viele Anwendungen im
militärischen Bereich*

¹ iaf.fraunhofer.de/de/forscher/quantensysteme/quantensensorik/asteriqs.html.

werden könnten. Hochsensible Sensoren könnten jedoch auch Seitenkanalangriffe auf (militärische) Kommunikation in neuem Ausmaß ermöglichen, also nicht das direkte Abfangen von Daten, sondern den Rückschluss darauf, beispielsweise anhand von Mustern im Energieverbrauch (Schmidt et al., 2025). Darin zeigt sich auch die Dual-Use-Natur vieler Quantensensoren.

Aus der Sorge vor einem Quantum Advantage, insb. im militärischen Bereich, können Quantensensoren auch auf geopolitischer Ebene an Relevanz gewinnen (Schmidt et al., 2025). Ähnlich wie aktuell ein Rennen zwischen China und den USA um die Vorherrschaft im Bereich der KI stattfindet, könnte es auch im Bereich der Quantentechnologie dazu kommen. Damit würden Lieferketten, Exportkontrollen, technische Souveränität und internationale Kooperationen an Brisanz gewinnen. Wie oben angeführt, bedürfen Quantensensoren häufig hochspezialisierter Geräte und Materialien, deren Verfügbarkeit begrenzt ist. Zum Beispiel sind für manche Quantensensoren notwendige hochwertige Diamanten nur schwer erhältlich – sogar den USA fehlen diesbezüglich verlässliche Quellen (GAO, 2025). Auch droht eine sog. „Quantum Divide“, da der Zugang zu Quantentechnologien global ungleich verteilt ist – auch Europa könnte hier ins Hintertreffen geraten.

*Geopolitische
Relevanz*

Die neuen Möglichkeiten durch Quantensensoren können auch jenseits militärischer Einsatzbereiche eine Herausforderung für die Menschenrechte darstellen und zu neuen Formen der (staatlichen) Überwachung führen (Krishnamurthy, 2022; Ramelet, 2026; Schmidt et al., 2025): Einerseits könnte mithilfe von Quantensensoren durch Objekte (Kleidung, Gebäude) hindurchgesehen werden.² Andererseits könnten hochsensitive Sensoren ermöglichen, anhand akustischer Signaturen Einzelpersonen im öffentlichen Raum zu identifizieren oder Gehirnaktivität aus der Ferne zu beobachten.

*Herausforderungen
für Menschenrechte*

Sollten Quantentechnologien zunehmend kommerziell erfolgreich und damit wirtschaftlich relevant werden, stellen sich weitere gesellschaftliche Herausforderungen und Gelegenheiten. Erstens setzen viele Berufe, die für Quantentechnologien (und damit auch -sensoren) relevant sind, ein hohes Ausbildungsniveau voraus. So haben sowohl die Gründerinnen und Gründer von Firmen als auch deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter überdurchschnittliche Qualifikationsniveaus, oft auf dem Niveau eines Doktorats (European Patent Office & OECD, 2025). Daher ist ausreichend qualifiziertes Personal ein wichtiger Faktor, um die Entwicklung von Quantensensoren voranzubringen (Brooksby et al., 2025).

*Hohe Qualifikationen
für Berufe im
Quantenbereich
gefordert*

² Bereits heute erlauben sogenannte *WLAN-Schatten* die Überwachung von Personen und Objekten, da je nach Material (inkl. lebender Körper mit hohem Wasseranteil) WLAN-Wellen in ihrer Ausbreitung beeinträchtigt werden.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Österreich verfügt über ein starkes Forschungsökosystem im Bereich der Quantenphysik und Quantentechnologie: Mit dem Vienna Center for Quantum Science and Technology,³ dem FWF-Exzellenzcluster Quantum Science Austria⁴ in Innsbruck, Anton Zeilinger als Träger des Physik-Nobelpreises sowie gezielten Förderungen in der Grundlagen-⁵ und angewandten Forschung⁶ besteht bereits eine solide Grundlage für eine aktive Rolle Österreichs bei der Entwicklung von Quantensensoren und damit für internationale Sichtbarkeit und Marktführerschaft. In Wien wurde kürzlich der Startschuss für das Quantum Technology Center gegeben,⁷ das Industrie, Start-ups und Forschung zusammenbringen soll.

*Lebendiges
Quanten-Ökosystem
in Österreich*

Im Rahmen der Industriestrategie 2035 wurde „Quantentechnologie und Photonik“ als eine der neun Schlüsseltechnologien ausgewählt.⁸ Das zeigt, dass Quantentechnologie auf höchster politischer Ebene Sichtbarkeit genießt.

Industriestrategie

Besonders im Hinblick auf Menschenrechte, militärische Anwendungen und die oben angeführte Gefahr einer internationalen Quantum Divide stellt sich die Frage, ob gesetzliche Maßnahmen notwendig sind und in welchen Bereichen: Exportkontrollen, internationale Kooperationen und Governance-Mechanismen, verstärkte Verankerung in Lehrplänen (sowohl im sekundären wie im tertiären Bildungssektor) zum Ausbau der Quantenkompetenz sowie strategische Investitionen zur Sicherstellung technologischer Souveränität sind nur eine Auswahl möglicher Tätigkeitsfelder (Ramelet, 2026; Schmidt et al., 2025).

*Governance
notwendig?*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Wie oben ausgeführt, bergen Quantensensoren vielfältige Chancen, aber auch gravierende Risiken. In einer kürzlich veröffentlichten Technikfolgenstudie des ITAS für Deutschland wurde mehrmals – auch explizit aus der Quanten-Community – der Bedarf an einer kontinuierlichen Begleitung der quantentechnologischen Entwicklungen hervorgehoben (Schmidt et al., 2025). Unter anderem werden oft Parallelen zu Gentechnik, Nanotechnologien und KI gezogen: Es handelt sich dabei um hochkomplexe Technologien, deren Mechanismen schwer an Alltagsverständnis anknüpfen. Das wiederum kann einerseits zu großer Skepsis und Unverständnis führen, andererseits aber auch Mythen und Hype befeuern.

*Stimmen aus der
Community für
kontinuierliche
Begleitung*

³ vcq.quantum.at.

⁴ quantumscience.at.

⁵ Etwa mit Mitteln des Aufbau- und Resilienzplans NextGenerationEU durch den FWF: fwf.ac.at/foerdern/foerderportfolio/themenfoerderungen/quantum-austria.

⁶ ffg.at/quantenforschung-und-technologie.

⁷ wien.gv.at/wirtschaft/quantum-technology-center-neu-marx.

⁸ bmwef.gv.at/Themen/industriestrategie.html.

In Verbindung mit der Einschätzung, dass Quantensensoren sich derzeit in der Phase der Kommerzialisierung befinden, scheint jetzt ein guter Zeitpunkt dafür zu sein, eine strukturierte gesellschaftliche Debatte und Begleitung in Form einer umfangreichen Technikfolgenabschätzung zu starten – ähnlich dem Projekt NanoTrust für Nanotechnologien.⁹

*Günstiger Zeitpunkt
für Technikfolgen-
abschätzung*

ZITIERTE LITERATUR

- Brooksby, A., et al. (2025). A conceptual framework for describing the future impacts of quantum sensors to national security. *Academia Quantum*, 2(1). academia.edu/3064-979X/2/1/10.20935/AcadQuant7590.
- Bongs, K., Bennett, S., & Lohmann, A. (2023). Quantum sensors will start a revolution – If we deploy them right. *Nature*, 617(7962), 672–675. doi.org/10.1038/d41586-023-01663-0.
- European Patent Office, & OECD. (2025). *Mapping the global quantum ecosystem*. European Patent Office. doi.org/10.65216/20251217-0001.
- Ferreira, V. G., & Lagercrantz, O. (2026). *Quantum technologies: Can they boost the EU's decarbonisation?* (PE 774.707). European Parliamentary Research Service. [europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2026\)774707](https://europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2026)774707).
- GAO. (2025). *Quantum Sensors* (GAO-25-107876; Science & Tech Spotlight). GAO Science, Technology Assessment, and Analytics. gao.gov/assets/gao-25-107876.pdf.
- Krishnamurthy, V. (2022). Quantum technology and human rights: An agenda for collaboration*. *Quantum Science and Technology*, 7(4), 044003. doi.org/10.1088/2058-9565/ac81e7.
- Li, H., et al. (2026). Quantum sensors for enhanced positioning and navigation: A comprehensive review. *GPS Solutions*, 30(1), 62. doi.org/10.1007/s10291-026-02030-y.
- Oh, E., et al. (2024). *A Perspective on Quantum Sensors from Basic Research to Commercial Applications* (arXiv:2407.00689). arXiv. doi.org/10.48550/arXiv.2407.00689.
- Ramelet, L. (2026). *Gesellschaftliche Herausforderungen der Quantentechnologien: Zukunftsfragen für die Schweiz (Themenpapier)* [Themenpapier]. TA-SWISS. doi.org/10.5281/zenodo.18232151.
- Schmidt, A., et al. (2025). *Technikfolgenabschätzung für die Quantentechnologien*. doi.org/10.5445/IR/1000185698.

⁹ oeaw.ac.at/ita/nanotrust.