

Projekt

Spin-based nanolytics – Turning today’s quantum technology research frontier into tomorrow’s diagnostic devices (NanoSpin)

Deutscher Ansprechpartner:

Prof. Dr. Jens Anders
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 47
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685-67250
E-Mail: jens.anders@te.uni-stuttgart.de

Projektvolumen:

1,2 Mio. € (BMBF-Förderquote 84,2%) – deutsche Partner

Projektlaufzeit:

01.06.2018 – 31.03.2022 – deutsche Partner

Projektpartner:

- ➔ Universität Stuttgart
 - ➔ Universität Ulm
 - ➔ NVision Imaging Technologies GmbH, Ulm
- Internationale Partner:
- ➔ Universität Hasselt (Belgien)
 - ➔ Wigner Forschungszentrum (Ungarn)
 - ➔ Tschechische Akademie der Wissenschaften (Tschechien)
 - ➔ Universität Wageningen (Niederlande)

QuantERA – Transnationale Förderung für die Quantentechnologien

Quantentechnologien bringen zahlreiche Chancen für neue Anwendungen in Industrie und Gesellschaft mit sich – in der Informationsübertragung und -verarbeitung, für höchstpräzise Mess- und Abbildungsverfahren oder für die Simulation komplexer Systeme. Szenarien sprechen davon, die Magnetfelder des Gehirns zu vermessen und Alzheimer oder Parkinson besser zu verstehen, den Verkehrsfluss zu optimieren und Staus zu vermeiden oder neue Werkstoffe und Katalysatoren allein auf der Grundlage von Simulationen zu entwickeln. Quantentechnologien schaffen dafür die Basis und haben das Potenzial, heute vorhandene technische Lösungen etwa in der Sensorik oder beim Computing deutlich zu übertreffen.

Die Quantentechnologien besitzen an vielen Stellen das Potenzial, in Anwendungsfeldern und Märkten eine dominante Rolle zu spielen. Allerdings steht das Feld noch am Anfang der Technologieentwicklung. Um Anwendungen zu erschließen, bedarf es noch erheblicher Forschungsanstrengungen. Mit der transnationalen ERA-NET Maßnahme QuantERA unterstützt das BMBF zusammen mit Akteuren der anderen Teilnehmerländer und der Europäischen Kommission die Forschung im Bereich der Quantentechnologien.

Perspektivisch betrachtet sind ERA-NET Instrumente für eine bedarfsgerechte und flexible transnationale Förderung als Ergänzung zur rein nationalen Förderung einerseits und zu den europäischen EU-Forschungsrahmenprogrammen andererseits.

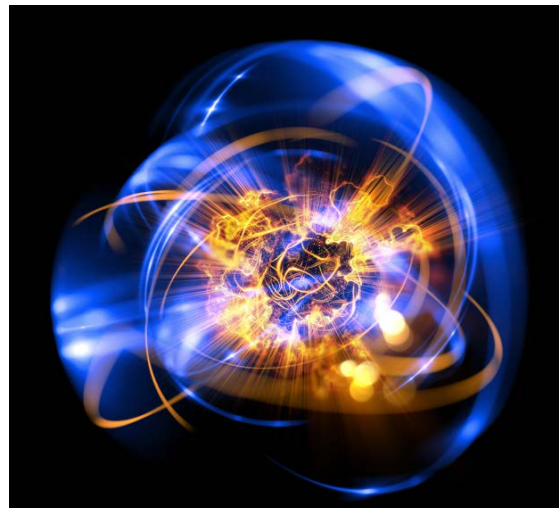


Bild 1: Die Quantentechnologien bilden die wissenschaftliche Basis für eine Vielzahl neuer Anwendungen.
(Quelle: fotolia ©rybindmitriy)

Quantensensoren für die hochpräzise Messung schwacher Magnetfelder

Die Forschung an optisch aktiven Farbzentren in Festkörpern hat sich in der vergangenen Dekade rasant entwickelt. Vielfältige Untersuchungen zur optisch detektierten Magnetresonanz (ODMR) in Festkörpern in den 1970er bis 1990er Jahren haben die Grundlage für die Entwicklung von Diamantquantensensoren geschaffen. Diamant-Magnetfeldsensoren basieren auf dem optischen Nachweis der Elektronenspinresonanz von Stickstoff-Leerstellen-Kombinationen in einem hochreinen Diamant-Kristallgitter. Die Energieaufspaltung zwischen zwei Elektronenniveaus dieser Störstellen ist proportional dem zu messenden Magnetfeld. Die zentrale Eigenschaft von solchen NV-Zentren (NV=Stickstoff/Vacancy) ist die lange Lebensdauer der erzeugten Quantenzustände. NV-Zentren bieten bedingt durch die effiziente Abschirmung innerhalb der Diamantmatrix – soweit bekannt – von allen Elektronenspin-Systemen die längsten Kohärenzzeiten im Festkörper bei Raumtemperatur. Mit Blick auf die Anwendung des Systems als Sensor ermöglicht diese Eigenschaft die genaue Bestimmung der Resonanzfrequenz. Durch Messung der Resonanzfrequenz kann somit insbesondere das Magnetfeld exakt und mit höchster Präzision bestimmt werden.

Integrierte NMR-Spektrometer mit Diamant-Quantensensoren

Um die Empfindlichkeit der Kernspinresonanz- (NMR-) Spektroskopie zu erhöhen, ist es erforderlich, die Polarisation, d.h. die Ausrichtung der Kernspins entlang eines extern angelegten Magnetfeldes zu verbessern. Konventionell erreicht man dies durch eine immer weitere Verstärkung des externen Magnetfeldes, wofür tonnenschwere Magnete erforderlich sind, die ganze Räume füllen (vgl. Bild 2). Das vorliegende internationale Verbundprojekt entwickelt für die sogenannten Hyperpolarisation der Kernspins einen vollkommen neuen Zugang über die Nutzung der kohärenten, quantenmechanischen Kopplung der Elektronenspins von NV-Zentren an die Kernspins der umgebenden Atome. Anders als beim etablierten Verfahren können die Elektronenspins der NV-Zentren durch geeignete Laserpulse quasi vollständig ausgerichtet werden. Auf diese Weise sind schon bei Raumtemperatur Polarisationsgrade zu erreichen, die ansonsten nur bei tiefen Temperaturen und sehr hohen Magnetfeldern möglich wären. Dieser sehr hohe Polarisationsgrad des Elektronenspin-Ensembles kann nun durch Mikrowellenpulse geeigneter Frequenz und Amplitude effizient an die umgebenden Kernspins übertragen werden, so dass diese ebenfalls hyperpolarisiert werden. Als Konsequenz kann das externe Magnetfeld sehr viel geringer sein als bei der konventionellen NMR, was eine massive Reduktion des gerätetechnischen Aufwands bedeutet. Zusätzlich soll im Projekt eine Mikrointegration der notwendigen Lasertechnik und Elektronik mit dem Ziel erfolgen ein tragbares Spektrometer für Gewebe- und Zellkulturen zur Verfügung zu stellen, das statt eines ganzen Raumes einen Platzbedarf von nur ca. einem Liter hat und das mit Kosten von weniger als 10.000 Euro erheblich günstiger als konventionelle Systeme ist, deren Preis bei etwa 10 Millionen Euro liegt.

NMR Spektrometer	 22 T hochauflösendes NMR Spektrometer am NIMS	 1 T tragbares kombiniertes ESR/DNP - verbessertes Spektrometer mit On-Chip-Polarisator
Empfindlichkeit	100-fach besser als ein 1T Benchtop-Spektrometer	1'000 bis 10'000-fach besser als 1T Benchtop Spektrometer mit 0.4% Polarisationsgrad
Größe	3-geschossiges Gebäude	Tragbar (10 cm) ³
Kosten	> €10 Mio.	< €10k für das Spektrometer inklusive der On-Chip-Diamanten-DNP

Bild 2: Veranschaulichung der transformativen Eigenschaften der Diamanten-DNP für die NMR-Spektroskopie. (Quelle: Universität Stuttgart)