

**QUANTENSENSORIK**  
PROJEKTE AM FRAUNHOFER IAF



# QUANTENSENSORIK AM FRAUNHOFER IAF

Die Optimierung komplexer elektronischer Schaltkreise, die Sichtbarmachung einzelner Bits in elektronischen Speichermedien oder ein Blick in die winzigen Magnetfelder von Herz und Gehirn zur Verbesserung der medizinischen Diagnostik – diese Ziele verfolgen wir am Fraunhofer IAF mit Hilfe der Quantensensorik.

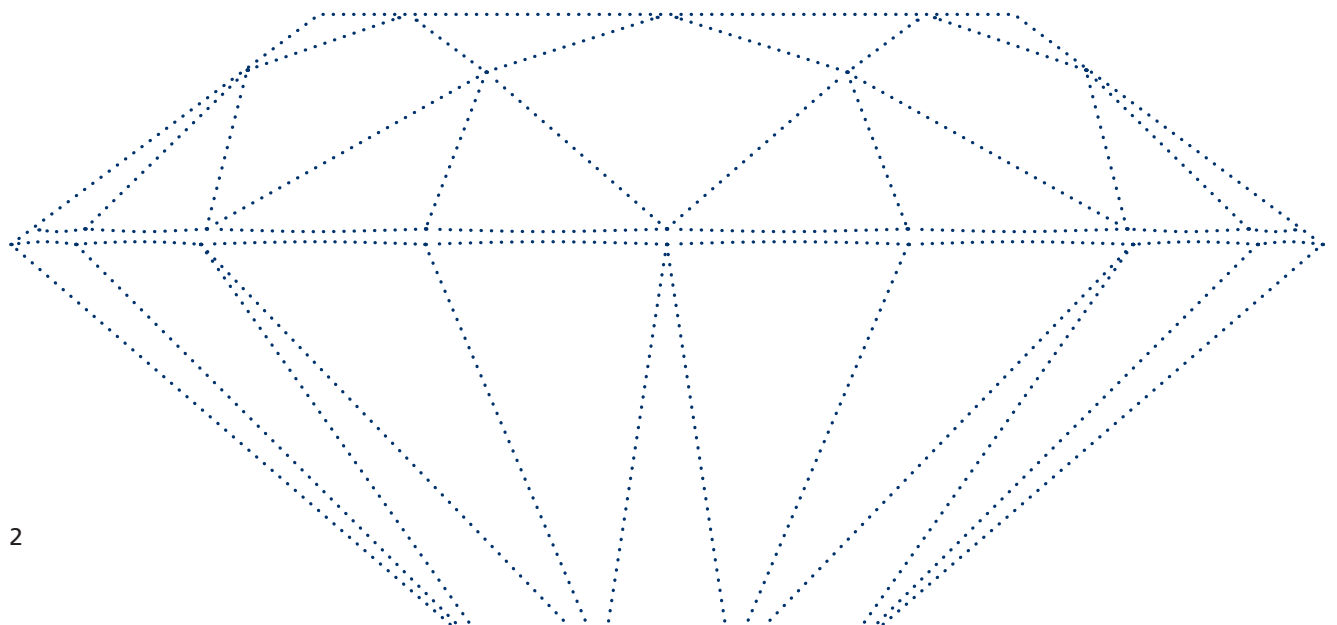
Quantensensoren erreichen in der Kombination von räumlicher Auflösung und Empfindlichkeit herausragende Eigenschaften. Verschiedene Sensorprinzipien lassen sich miteinander kombinieren und erlauben sehr kompakte Bauformen bis hin zum vollständigen System.

Am Fraunhofer IAF entwickeln wir Quantensensoren auf Basis des Materials Diamant, die magnetische und elektrische Felder mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Nanometern bis hin zu einzelnen Elektronen- und Kernspins nachweisen können. Aufgrund seiner herausragenden physikalischen Eigenschaften funktionieren Diamant-Quantensensoren bei Raumtemperatur – ideal für industrielle Anwendungen.

Diese Broschüre gibt Ihnen einen Überblick über unsere vielseitigen Projekte im Bereich der Elektronik und Medizintechnik sowie unseren Kernkompetenzen rund um das Material Diamant.

**Die Quantensensorik ist die Quantentechnologie mit dem höchsten Potenzial für industrielle Anwendungen. Wir sind immer auf der Suche nach neuen Partnern, um unsere Forschung vom Labor in die Anwendung zu überführen.**

**Kommen Sie mit uns ins Gespräch!**



# QUANTENMAGNETOMETER FÜR HÖCHSTE EMPFINDLICHKEIT UND HÖCHSTE ORTS-AUFLÖSUNG

## PROJEKT QMAG

Ziel des Leitprojektes »QMag« ist es, Quantenmagnetometer aus dem Labor in die industrielle Anwendung zu bringen. Dabei entwickeln Forscher aus sechs Fraunhofer-Instituten zwei komplementäre Quantenmagnetometer, eines mit höchster räumlicher Auflösung und eines mit höchster Sensitivität, die beispielsweise bei der Fehleranalyse nanoelektronischer Schaltungen sowie in der Prozesstechnik und der Werkstoffcharakterisierung eingesetzt werden können.

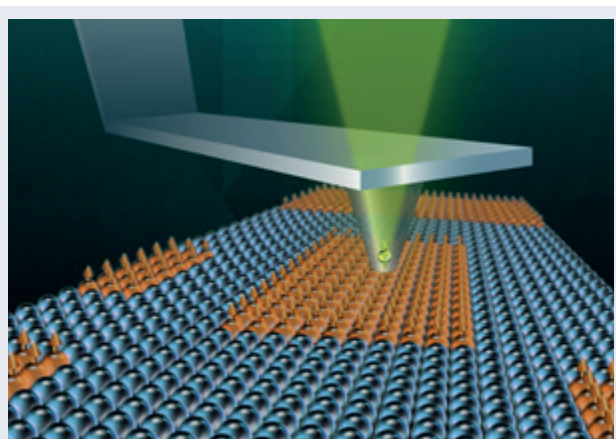
Die Quantensensoren nutzen die magnetischen Momente einzelner Elektronen zum Nachweis kleinster Magnetfelder. Diese Elektronen werden entweder in Defektzentren von Diamantkristallen eingefangen oder mit Hilfe von Alkaliatomen präpariert. Sie fungieren als die kleinstmöglichen Tastmagneten in einem Rastersonden-Quantenmagnetometer mit höchster Ortsauflösung oder in einem optisch gepumpten Alkali-Magnetometer mit einer extrem hohen Sensitivität.

Basierend auf Prototypen solcher Magnetometer sollen anwendungsspezifische, kostengünstige, komplette Messsysteme entwickelt werden. Außerdem entsteht ein Applikationslabor, das für Partner und Kunden für Testmessungen zur Verfügung steht.

## KONTAKT

**Prof. Dr. Dr. Oliver Ambacher**  
Projektleiter

Telefon +49 761 5159-411  
oliver.ambacher@iaf.fraunhofer.de



## STECKBRIEF

<b>Laufzeit</b>	2019 – 2024
<b>Koordinator</b>	Fraunhofer IAF
<b>Projektleiter</b>	Prof. Dr. Dr. Oliver Ambacher
<b>Förderung</b>	Fraunhofer-Gesellschaft, Land Baden-Württemberg (zu gleichen Teilen)
<b>Partner</b>	Fraunhofer IPM, Fraunhofer IWM, Fraunhofer IISB, Fraunhofer IMM, Fraunhofer CAP, UK Research Ltd. (GBR)

## ZIEL

Entwicklung zweier komplementärer Quantenmagnetometer, um kleinste Magnetfelder mit hoher Auflösung und hoher Empfindlichkeit bei Raumtemperatur zu messen

MEHR  
INFORMATION



# LASERSCHWELLENMAGNETOMETER – HOCHEMPFLINDLICHER MAGNETFELDSSENSOR FÜR DIE MEDIZINTECHNIK

## PROJEKT DILAMAG

Die Messung von Magnetfeldern gehört inzwischen zum Standard in der medizinischen Diagnostik, um die Aktivitäten von Gehirn (MEG) oder Herz (MKG) zu messen. Die notwendige Präzision der Messungen erreichen jedoch nur wenige hochempfindliche Magnetfeldsensoren, üblicherweise bei extremer Tieftemperaturkühlung.

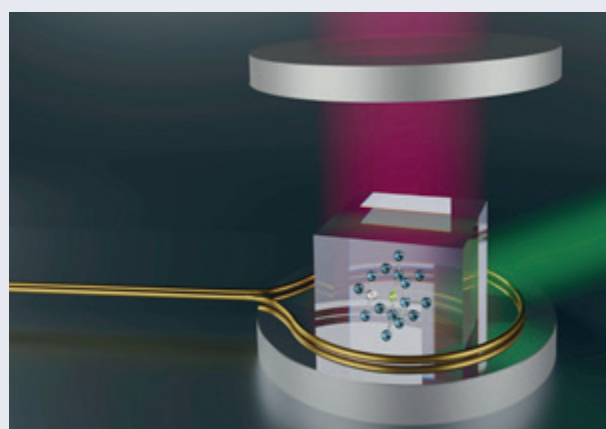
Ziel des Forschungsprojektes »DiLaMag« ist es, Diamant mit einer hohen Dichte von Stickstoff-Vakanz (NV)-Zentren zum ersten Mal in einem Lasersystem einzusetzen, um damit neue und präzisere Magnetfeld-Messungen bei Raumtemperatur zu ermöglichen. Dafür setzen die Forscherinnen und Forscher den Diamant in einer Laserkavität ein und kombinieren das Lasersystem mit einer Radio-Frequenz-Antenne zur Messung der Magnetresonanz. Diese sogenannte »Laserschwellen-Magnetometrie« (LSM) ist ein weltweit neuer Forschungsansatz. Aufgrund seiner Materialeigenschaften ist Diamant mit einer hohen Dichte an NV-Zentren dabei für den Einsatz als Lasermedium besonders geeignet.

Das zu entwickelnde System soll stärkere Signale und einen höheren Kontrast erzielen, was zu wesentlich präziseren Messergebnissen führt und der medizinischen Diagnostik neue Türen öffnet.

### KONTAKT

**Dr. Jan Jeske**  
Projektleiter

Telefon +49 761 5159-265  
jan.jeske@iaf.fraunhofer.de



### STECKBRIEF

<b>Laufzeit</b>	2018 – 2023
<b>Koordinator</b>	Fraunhofer IAF
<b>Projektleiter</b>	Dr. Jan Jeske
<b>Förderung</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
<b>Partner</b>	SIGMA Medizintechnik GmbH, RMIT University Melbourne (AUS), Macquarie University Sydney (AUS), Unikliniken Freiburg und Heidelberg

### ZIEL

Materialverbesserungen von NV-dotiertem Diamant, Realisierung eines NV-Diamant-Lasers, Realisierung eines Laserschwellen-Magnetometers, Verbesserung der Sensitivität und Messpräzision, erste Messungen biologischer Signale

**MEHR  
INFORMATION**



# HYPERPOLARISATOR FÜR DIE HOCH-AUFLÖSENDE KERNSPINTOMOGRAPHIE

## PROJEKT METABOLIQS

Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind weltweit die häufigste Todesursache. Eine verbesserte medizinische Diagnostik bedingt eine deutlich höhere Auflösung bei der Magnetresonanztomographie (MRT). Die Stärke des MRT-Signals wird durch die Polarisation von Kernspins der Biomarker im Körper bestimmt, welche durch hochleistungsfähige Magnete in Kombination mit Scannern erreicht wird. Leider dauert der heute genutzte Hyperpolarisations-Prozess sehr lange, ist kostenintensiv und erfordert zudem Temperaturen von unter -270 Grad Celsius.

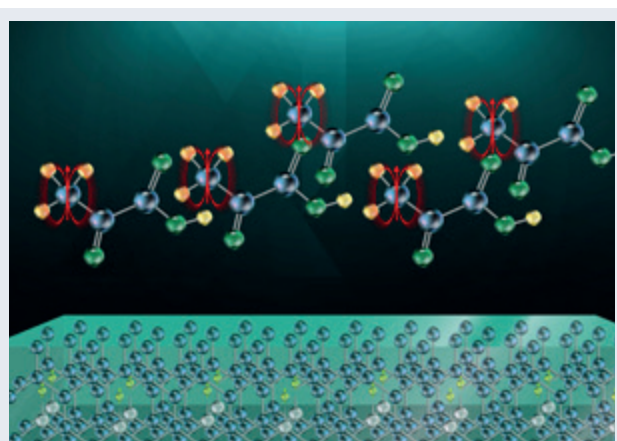
Im Projekt »MetaboliQs« wird ein innovativer Diamantpolarisator entwickelt, der mit jeglichem kommerziellen MRT-Scanner funktioniert und bei Raumtemperatur arbeitet. Er besteht aus einem Diamantplättchen mit einer hohen Anzahl von Stickstoff-Vakanz (NV)-Zentren, die für die Hyperpolarisation von Biomarkermolekülen genutzt werden. Damit gelingt eine bis zu fünf Größenordnungen verbesserte Polarisation, was sich direkt in einer höheren Auflösung der Bildgebung zeigt.

Insgesamt soll der Diamant-Polarisator bei Raumtemperatur einen 160-fach höheren Kontrast, eine 40-fach schnellere und 4-fach günstigere Polarisation bieten.

### KONTAKT

**Dr. Volker Cimalla**  
Projektleiter

Telefon +49 761 5159-304  
volker.cimalla@iaf.fraunhofer.de



### STECKBRIEF

<b>Laufzeit</b>	2019 – 2021
<b>Koordinator</b>	Fraunhofer IAF
<b>Projektleiter</b>	Dr. Volker Cimalla
<b>Förderung</b>	EU – FET Flagship on Quantum Technologies
<b>Partner</b>	NVision Imaging Technologies GmbH, Technische Universität München, Swiss Federal Institute of Technology (CH), Bruker BioSpin GmbH, Element Six Limited E6 (GBR), The Hebrew University of Jerusalem (ISR)

### ZIEL

Entwicklung und Herstellung von Diamant mit Stickstoff-Vakanz-Zentren für eine schnellere und verbesserte Hyperpolarisation, Entwicklung eines diamantbasierten Polarisators für präklinische Experimente im Bereich kardiovaskuläre Krankheiten

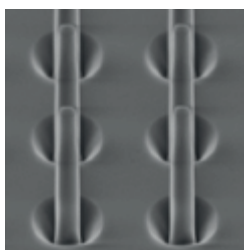
**MEHR  
INFORMATION**



# WEITERE PROJEKTE

## PROJEKT DIAMRI

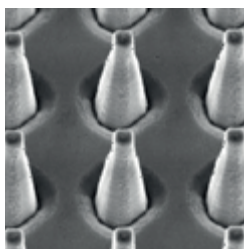
### Diamantspitzen als magnetische Sensoren



E-Mails, Bilder, Videos – in jeder Sekunde werden Unmengen von Daten erzeugt, versendet und gespeichert. Immer dichter beschriebene Festplatten werden dafür genutzt. Einzelne Bits liegen nur noch wenige Nanometer auseinander. Wie können wir diese winzigen magnetischen Nullen und Einsen sichtbar machen und prüfen? Im Projekt DiaMRI werden Quantensensoren auf Basis von Stickstoff-Vakanz (NV)-Zentren entwickelt. Mit ihnen können einzelne Datensegmente auf der Festplatte geprüft und, wenn nötig, vom Lese- und Schreibvorgang ausgeschlossen werden. Das schont Ressourcen und spart Kosten in der Produktion.

## PROJEKT ASTERIQS

### Kleinste Magnetfelder mit hochempfindlichen Quantensensoren aus Diamant messen



Quantentechnologien aus der Laborumgebung in die Anwendung bringen ist das Ziel des Projekt ASTERIQS im FET Flagship on Quantum Technologies der Europäischen Union. Stickstoff-Vakanz (NV)-Zentren in Diamant werden genutzt, um Quantensensoren zu entwickeln, die für den Endnutzer einfach zu bedienen sind. Dafür integriert das Projektteam sie in ein funktionsfähiges Diamant-Magnetometer mit der passenden Software. So werden neue Anwendungen mit TRL 4 – 5 ermöglicht, z. B. die Messung von einzelnen Molekülen, die Verbesserung personalisierter Medizin oder ein GPS-unabhängiges Magnetfeld-Navigationssystem für das autonome Fahren.

## PROJEKT DIAPOL

### Revolutionierende Krebsdiagnostik mit Diamant-Quantentechnologien



Krebserkrankungen gehören weltweit mit zu den häufigsten Todesursachen. Zur Diagnose und Therapiewertung ist die Magnetresonanztomographie (MRT) besonders schonend für den Patienten, da sie ohne für den Menschen schädliche Chemikalien oder radioaktive Substanzen auskommt. Im Projekt DiaPol nutzen die Partner neue Entwicklungen der Quantenphysik, um die Effizienz der MRT-Methode signifikant zu steigern. Dabei soll ein diamantbasierter Polarisator genutzt werden, um die Magnetfelder der Kernspins in körpereigenen Molekülen zu verstärken und auszurichten. Damit kann es möglich werden, Krebs nicht nur frühzeitig zu erkennen, sondern auch das Stadium der Krebszellen zu diagnostizieren.

# UNSERE KERNKOMPETENZEN

## Ein- und polykristalliner Diamant

Das Fraunhofer IAF entwickelt Komponenten und Bauelemente auf Basis von einkristallinem und polykristallinem Diamant für den Einsatz in elektronischen und optischen Bauteilen sowie für neuartige Anwendungen im Bereich der Quantensensorik. Dies umfasst sowohl die Herstellung von hochreinen und gezielt dotierten Diamantschichten als auch die Entwicklung von Verfahren zur weiteren Bearbeitung des Diamants.

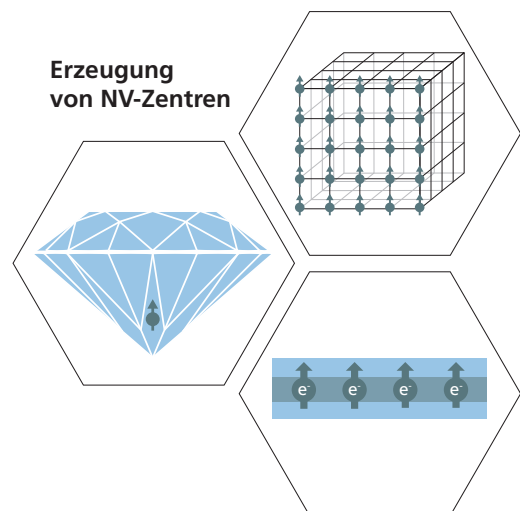
Im Bereich der Quantensensorik nutzen wir unsere Expertise in der Erzeugung von Stickstoff-Vakanz (NV)-Zentren in Diamant: Diese entstehen, wenn zwei benachbarte Kohlenstoff-Atome entfernt werden und eines durch ein Stickstoffatom ersetzt wird. In die Leerstelle fällt das überschüssige Elektron des Stickstoffatoms hinein. Dieses Elektron besitzt ein magnetisches Moment, welches nach seiner Orientierung als winziger Tastmagnet genutzt werden kann.

Dabei umfasst unsere Expertise die gezielte Erzeugung von NV-Zentren in drei Dimensionen:

- Erzeugung eines einzelnen NV-Zentrums für die Quantenmagnetometrie und für Einzelphotonenquellen
- Erzeugung von 2D-flächigen NV-Zentren in Diamant für die Hyperpolarisation
- Erzeugung von Volumenflächen mit NV-Zentren für die hochempfindliche Laserschwellen-Magnetometrie

In unserem 1000 m<sup>2</sup> großen Reinraum und weiteren 3000 m<sup>2</sup> Laborfläche stehen Epitaxie- und Technologieanlagen für das Diamant-Wachstum (Homoepitaxie / Heteroepitaxie in patentierten Anlagen) sowie für die weitere Bearbeitung zur Verfügung. Wir verfügen über umfangreiches Know-how in den Bereichen:

- Laserschneiden
- Schleifen und Polieren
- Plasmaätzen
- Aufbringen von Metallisierungen
- Aufbau- und Verbindungstechnik



# KONTAKTIEREN SIE UNS!

**Fraunhofer-Institut für  
Angewandte Festkörperphysik IAF**

Tullastraße 72

79108 Freiburg

Telefon +49 761 5159-0

info@iaf.fraunhofer.de

www.iaf.fraunhofer.de



**Deborah Mohrmann**

Business Development

Telefon +49 761 5159-216

deborah.mohrmann@iaf.fraunhofer.de



*Copyright*

*Titelfoto: sakkmasterke - stock.adobe.com*

*S. 3 unten: Uni Freiburg, Klaus Polkowski | S. 6 unten: romaset - stock.adobe.com*

[www.quantensensing.de](http://www.quantensensing.de)