


# Quantenmagnetometrische Kamera

Hochsensitive und zerstörungsfreie Materialprüfung



*Ronja Rasser, Peter Koss und Jeremias Gutekunst (v.l.) entwickeln eine Magnetfeldkamera, die in Zukunft Mikrodefekte im Inneren von Werkstoffen frühzeitig nachweisen soll.*

Winzige, verborgene Schäden in Werkstoffen können sich mit der Zeit zu Rissen ausweiten und die Funktion sowie Sicherheit technischer Anlagen und Systeme gefährden. Um solche Defekte bereits bei der Herstellung zu entdecken und die Qualitätssicherung zu verbessern, entwickeln wir eine hochsensitive Magnetfeldkamera. Diese Kamera misst die Magnetfeldstärke von Bauteilen bildgebend und könnte zukünftig in einem Produktionsumfeld eingesetzt werden.

## Hohe Sensitivität durch optisch gepumpte Atome

Bauteildefekte haben ihren Ursprung oftmals in minimalen Schädigungen, die bereits während der Herstellung entstehen. In ferromagnetischen Werkstoffen geben Inhomogenitäten in der Magnetfeldstärke Hinweise auf verborgene Mikrorisse. Diese magnetischen Signale liegen im Bereich von wenigen Picotesla. Heutige Methoden der zerstörungsfreien Materialprüfung basieren größtenteils auf magnetischen Streufeldern. Zu den gängigen Prüfverfahren zählen die Magnetpulverprüfung und Messungen mit verschiedenen Formen von Magnetometern. Allerdings erreichen diese Messverfahren nur begrenzte Ortsauflösung und Sensitivität oder sind zeitaufwendig. Fraunhofer IPM setzt bei

der Entwicklung der Magnetfeldkamera auf das Prinzip des optischen Pumpens von Alkalidämpfen. Dank dieser Technik hat die Kamera das Potenzial, deutlich höhere Sensitivität, Ortsauflösung und Messgeschwindigkeit zu erreichen als bestehende Technologien.

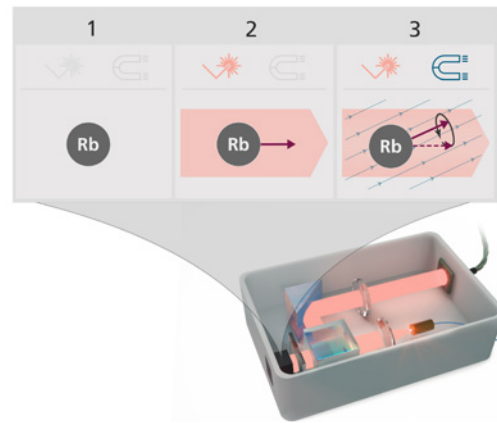
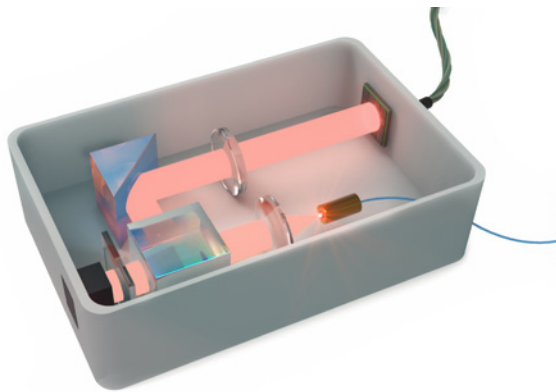
## Zwei Messprinzipien

Die am Fraunhofer IPM entwickelte Magnetfeldkamera nutzt zwei unterschiedliche physikalische Prinzipien, um hochempfindliche magnetische Messungen durchzuführen: die Free Spin Precession (FSP) und die Nullfeldresonanzen (auch Hanle-Resonanzen genannt). Beide Prinzipien ergänzen sich und ermöglichen eine umfassende und präzise Erfassung der Magnetfeldstärken.

## Kooperation mit Fraunhofer IPM

Wir sehen großes Potenzial in der industriellen Quantensensorik und sind offen für Ideen und Kooperationen auf diesem noch jungen Forschungsfeld.

Sprechen Sie uns gerne an!



Schematische Darstellung und Messprinzip einer Magnetfeldkamera.

### Free Spin Precession (FSP)

Bei der FSP wird ein Dampf von Alkaliatomen, typischerweise Rubidium, in einer Puffergaszelle verwendet. Diese Atome werden mit einem zirkular polarisierten Laserstrahl optisch gepumpt, wodurch ihre Spins in eine bevorzugte Richtung ausgerichtet werden. Sobald das optische Pumpen unterbrochen wird, beginnen die Spins in der Anwesenheit eines externen Magnetfeldes zu präzedieren. Diese Präzession erfolgt mit einer Frequenz, die proportional zur Magnetfeldstärke ist – der sogenannten Larmor-Frequenz.

### Nullfeldresonanzen (Hanle-Resonanzen)

Bei den Nullfeldresonanzen wird die Änderung der Absorption des optisch gepumpten Atomdampfs untersucht, wenn ein senkrechtes Magnetfeld angelegt und variiert wird. Geht das angelegte Magnetfeld durch Null, so wird eine maximale Änderung der Transmission von Licht beobachtet.

### Quantensensoren für die Industrie

Fraunhofer IPM verfolgt eine Reihe unterschiedlicher Ansätze, um Quantensensoren für industrielle Anwendungen zu nutzen. Im Rahmen zahlreicher Projekte haben wir Forschungskompetenzen insbesondere auf dem Gebiet optisch gepumpter Magnetometer (OPM) aufgebaut. Am Institut verfügen wir über Infrastruktur und Know-how, die es uns erlauben, die magnetische Umgebung für unsere Messsysteme sehr genau zu kontrollieren. Dazu gehört ein magnetisch geschirmter Raum (MSR), in dem wir quantensensorische Messungen in einer optimalen Umgebung und in einem großen Volumen durchführen können.

Am Institut entstand bereits ein erstes quantenmagnetometrisches System für die Durchflussmessung. Für die Werkstoffprüfung entwickelte ein Fraunhofer-Team ein optisch gepumptes Magnetometer, das Schädigungen wie z. B. Spannungskonzentrationen in Schweißnähten detektiert. Gemeinsam mit dem Forschungszentrum Intelligent Machine-Brain Interfacing Technology (IMBIT) arbeitet Fraunhofer IPM zudem mit hochempfindlichen OPM-basierten Quantensensoren für die Magnetoenzephalographie (MEG).

### Technische Angaben

Parameter	Kamera-Konzept 1*	Kamera-Konzept 2**
Messverfahren	Free Spin Precession (FSP)	Nullfeldresonanz
Messbare Magnetfeldstärke	$\mu\text{T}$ -Bereich	Sub-nT-Bereich
Ortsauflösung	etwa 100 Mikrometer	etwa 100 Mikrometer
Aktive Messfläche	5 mm x 5 mm	5 mm x 5 mm

\* Der FSP-Ansatz wird im Rahmen des [Projekts QuMa2](#) (Hochauflösende quantenmagnetometrische Kamera zur schnellen Inline-Materialprüfung vom BMBF gefördert).

\*\* Der Nullfeldresonanz-Ansatz wird im Rahmen eines von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekts entwickelt.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

### Kontakt

Dr. Peter Koss  
Projektmanager  
Telefon +49 761 8857-243  
peter.koss@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für  
Physikalische Messtechnik IPM  
Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg  
www.ipm.fraunhofer.de

