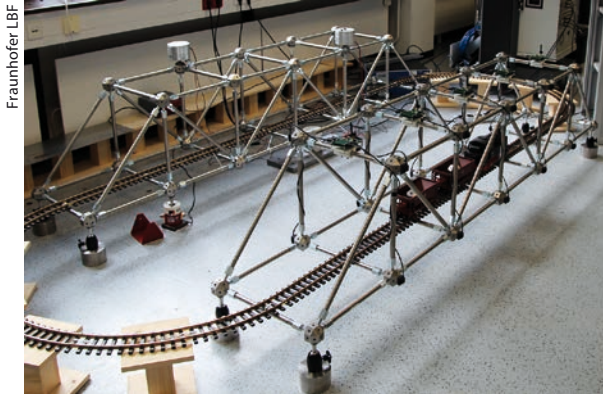


■ Kontrollierte Sicherheit

Ein intelligentes Sensornetz detektiert Bauwerkschäden anhand des Schwingungsverhaltens.

Der Unterhalt der Verkehrsinfrastruktur ist mit immensen Kosten verbunden. Besonders neuralgische Punkte sind Brücken aller Art, die viele Jahrzehnte in Betrieb sind. Um ihre Verkehrssicherheit zu gewähr-



Die Darmstädter Forscher haben ihr Sensornetzwerk an einer Modellbrücke erprobt.

leisten, müssen die Brücken alle sechs Jahre minutiös begutachtet werden. Solche Prüfungen dauern tagelang. Autonom arbeitende Sensoren könnten die Kosten deutlich senken.¹⁾ Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt und der TU Darmstadt haben das Labormuster eines intelligenten Sensornetzwerks entwickelt, das Brückenbauwerke, Windenergieanlagen oder andere Mastkonstruktionen kontinuierlich überwachen könnte.

Die Forscher nutzen hierfür kommerziell erhältliche kapazitive Beschleunigungssensoren auf der Basis von MEMS-Chips (mikroelektromechanische Systeme). Mit ihnen lassen sich Schwingungen in zwei oder drei Achsrichtungen detektieren. Die Projektbeteiligten erfassen zum Beispiel bei einer Brücke rund 20 Freiheitsgrade, für die etwa zehn MEMS-Chips erforderlich sind. Diese Chips befinden sich dazu an den Punkten stärkster Belastung und detektieren die Schwingungen in zuvor definierten Raumrichtungen. Der besonders interessante Frequenzbereich liegt zwischen einigen Zehntel Hertz

und einigen zehn Hertz. Das Sensornetzwerk bestimmt mit einem zeitlichen Mittelungsschema Eigenfrequenzen und -schwingungsformen des Bauwerks, aus deren Veränderung sich auf problematische Schäden schließen lässt.

Derzeit funktioniert das Sensornetzwerk an einem Labormodell – einer Eisenbahnbrücke mit einer Länge von 2,40 m und einem Querschnitt von $40 \times 40 \text{ cm}^2$ sowie am Turm einer Windenergieanlage. Die Vernetzung geschieht per Funk oder Kabel. Der nächste Schritt ist der Test an einer realen Autobahnbrücke im Rahmen eines europäischen Projekts mit neun Partnern aus Forschung und Wirtschaft. Der Antrag dafür ist gestellt.

■ Gesicherte Qualität

Mit Hilfe des Faraday-Effekts lassen sich flächige Magnetfelder rasch quantitativ vermessen.

Verschiedene industriell genutzte Mess- und Detektionsverfahren beruhen auf Magnetfeldern. Ein Beispiel dafür sind magnetische Encoder, die in Fahrzeugtechnik oder Maschinenbau Dreh- und Linearbewegungen erfassen. Ihre Präzision hängt von der funktionalen Qualität ihres permanenten Magnetfelds ab. Typische Verfahren zur Prüfung von Magnetfeldern arbeiten mit Hall-Sensoren oder induktiven Sonden. Ihr Nachteil: Die zu kontrollierende Fläche muss zeitaufwändig gerastert werden. Forscher der Innovent Technologieentwicklung Jena haben ein magneto-optisches Verfahren entwickelt, mit dem sich flächige Inhomogenitäten von Magnetfeldern oder strukturbasierte Gradientenfelder schnell erfassen lassen.

Als Magnetfeldsensor nutzen sie eine einkristalline Schicht aus Eisengranat, die sie von einer Seite mit linear polarisiertem Licht beleuchten. Da die Schicht verspiegelt ist, wird das Licht reflektiert und mit einer Kamera erfasst. Auf der anderen Seite des Sensors befindet sich direkt die magnetische Probe, also zum Beispiel ein Encoder.

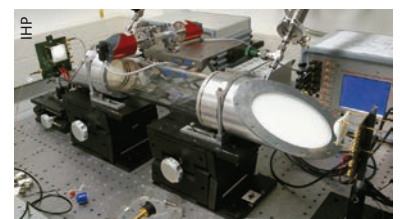
Das Magnetfeld der Probe dreht nun die Polarisationsrichtung des reflektierten Lichtstrahls aufgrund des Faraday-Effekts. Der Kamerasensor liefert dann letztlich ein orts aufgelöstes Falschfarbenbild der Magnetfeldstärke. Dazu muss der Drehwinkel der Polarisation proportional zum externen, also dem zu vermessenden, Magnetfeld sein.

Quantitativ aussagekräftige Bilder mit dieser Anordnung zu bekommen, ist nicht trivial. Bei der Kalibration müssen die Forscher das System auf definierte Magnetfeldintensitäten auslegen sowie den Temperaturgang des Systems kompensieren. Derzeit ermöglicht die magneto-optische Sensortechnik Messflächen von $20 \times 15 \text{ mm}^2$ und die Detektion von Feldstärken zwischen 0,1 und 150 mT. An einer Verdreifachung der Messfläche arbeiten die Forscher bereits. Ziel ist es, ein Messmodul zu entwickeln, das sich in einen automatischen Messprozess integrieren lässt.

■ Billiger bei Millimeterwellen

Erstmals arbeitet ein Gasspektroskopie-System mit integriertem Sender und Empfänger auf SiGe-Basis.

Die Millimeterwellen-Absorptionsspektroskopie ist eine gängige Labortechnik, um absolute Konzentrationen zu messen. Mögliche technische Anwendungen sind der Nachweis toxischer Gase, die Kontrolle chemischer Prozesse, etwa beim Plasmaätzen in der Halbleitertechnologie, oder Atemluftanalysen, um Lungenkrankheiten früh zu erkennen. Die erforderlichen kommerziell erhältlichen Strahlungsquellen und Detektoren sind bislang relativ unhandlich und



An den Enden der Gasabsorptionszelle ist ein Sender- bzw. Empfängerchip mit Optik montiert.

1) Physik Journal, Januar 2014, S. 14

2) K. Schmalz et al., Electron. Lett. 50, 881 (2014)

teuer. Daher gibt es bereits seit längerem Forschungsprojekte, die eine Miniaturisierung und Integration der Systeme zum Ziel haben. Nun haben Wissenschaftler des IHP – Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Berlin gemeinsam ein kompaktes und kostengünstiges System für die Gasspektroskopie entwickelt, das im Bereich von 245 GHz arbeitet.²⁾

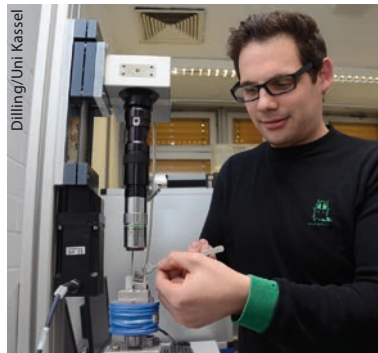
Sender und Empfänger haben die Forscher in einem Silizium-Germanium-Prozess als integrierte Chips gefertigt, was deren Kosten deutlich senkt. Zur Demonstration dient ein Laborsystem, welches die Absorptionsspektren eines Lösungsmittels und eines Alkohols messen kann. Entscheidend für die Entwicklung des Systems war neben einem zuverlässigen SiGe-Prozess und dem spektroskopischen Anwendungs-Know-how die Erzeugung sehr sauberer Signale, da es galt, Linienbreiten von wenigen 100 kHz zu messen. Hierzu mussten die Forscher die Arbeitsfrequenz über Phasenregelschleifen möglichst konstant halten.

■ Sortieranlage im Kleinen

Ein magnetisches Verfahren eignet sich zur Analyse von Krebsmarkern.

Bei der Erkennung von Krebs spielen Biomarkermoleküle eine große Rolle, weil ihr gehäuftes Auftreten auf einen Tumor hindeutet. Nachweisen lassen sie sich mit Hilfe von Antikörpern. Allerdings ist das nur im Labor möglich und dauert oft Wochen. Dabei wären Mediziner beispielsweise bei der Langzeitüberwachung von Patienten an schnelleren Verfahren interessiert. Wissenschaftler der Universitäten in Kassel und Zürich haben nun ein Analyseverfahren entwickelt, das diesem Wunsch nahe kommt.

Sie lagern Magnetpartikel an geeignete Fängermoleküle an, die wiederum an die Biomarker binden. Dann gilt es, auf einem nur wenige Quadratzentimeter großen Diagnosechip die magnetisch mar-



Der Analysechip für Krebsmarker wird über einem Elektromagneten platziert, mit dem sich die Partikel in der zu untersuchenden Flüssigkeit steuern lassen.

kierten Biomarker zu detektieren. Bei diesem handelt es sich um ein magnetisch strukturiertes Substrat, das aus einer ferromagnetischen und einer antiferromagnetischen Schicht besteht. Das Substrat weist an der Oberfläche wenige Mikrometer breite, streifenförmige Domänen auf. Die zu sortierenden Magnetpartikel sind superparamagnetisch und ordnen sich auf dem Chip entlang der Domänenwände an. Dies verhindert, dass die Partikel verklumpen. Liegt ein äußeres Magnetfeld an, können die Forscher die Partikel senkrecht zu den Domänenwänden gezielt bewegen.

In der Probe sorgt die Diffusion dafür, dass Magnetpartikel und Moleküle zusammenfinden. Allerdings dauert das zu lange, weshalb die Forscher den Vorgang durch Hin- und Herbewegen der Partikel um eine Größenordnung beschleunigen können. Auch eine Sortierung für die Detektion lässt sich durch das Magnetfeld und entsprechend strukturierte Domänen auf dem Substrat erreichen. Die eigentliche Detektion wäre prinzipiell in Fluoreszenz oder über eine Magnetowiderstandsmessung möglich.

Die Wissenschaftler beherrschen die einzelnen Markier-, Transport- und Sortierschritte in Theorie und Praxis. Ein Patent ist beantragt. Zudem läuft ein Projektantrag, in dessen Rahmen die beteiligten Partner einen Prototyp entwickeln wollen, der eine Krebsanalyse innerhalb einer halben Stunde erlauben würde.

Michael Vogel