

■ Wächter für Brücken

Messungen des Schwingungsverhaltens von Spannseilen in Brücken weisen auf Beschädigungen hin.

Um die Verkehrssicherheit von Straßenbrücken zu gewährleisten, müssen sie alle sechs Jahre akribisch begutachtet werden. Solche Prüfungen finden visuell und mit Hilfsmitteln statt und dauern Tage. Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich bisher nicht genauer untersuchte Spannseile einer Brücke innerhalb von Stunden überprüfen lassen. Es eignet sich für Brücken mit externen Spannmitgliedern und für Schrägseilbrücken. Bei Brü-

gewöhnlichen Gummihammer erfolgen oder durch den Verkehr, der die Brücke überquert; bei Schrägseilbrücken genügen auch Wind oder Regen. Die relative Genauigkeit des Verfahrens muss ± 1 Prozent betragen. Im Idealfall liegt eine Nullmessung für eine Brücke vor. Aber auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Spannseilen einer Brücke liefern bereits Hinweise auf Schäden.

Derzeit erreichen die KIT-Forscher eine Messgenauigkeit von 0,04 Hz. Das genügt für die Vermessung von Brücken mit externen Spannmitgliedern, da deren typische Längen Frequenzen von deutlich über 4 Hz zur Folge haben. An der für Schrägseilbrücken mit Seillängen von über hundert Metern erforderlichen Messgenauigkeit von 0,01 Hz arbeiten die Forscher gerade.

■ Optischer Minimalist

3D-Bildrekonstruktionen sind bereits mit dem jeweils ersten Photon möglich, das von verschiedenen Objektpunkten reflektiert wird.

LIDAR-Systeme (Light Detection and Ranging), die optische Variante des Radars, finden heute sowohl in der Atmosphärenforschung als auch in der Industrie Anwendung, zum Beispiel in Fahrerassistenzsystemen der Oberklasse. Spielen Störlichtquellen keine Rolle, genügen bereits einige zehn Photonen, um Entfernungen genau zu bestimmen; bei starkem Hintergrundrauschen sind einige hundert Photonen erforderlich. Und für die korrekte Darstellung von Reflektivitäten sind schon ohne Hintergrundrauschen einige

hundert Photonen notwendig. Wissenschaftler des MIT in Cambridge und der Universität Boston haben nun ein Verfahren entwickelt, das bereits mit dem ersten pro Pixel detektierten Photon ein aussagekräftiges Bild liefert.¹⁾

Bei dieser Erstphotonenbildsynthese zeichnen die Forscher das jeweils erste Photon auf, das auf einen Detektor, eine Lawinenfotodiode, trifft. Dabei ist es egal, ob es sich um ein reflektiertes Photon des erfassten Objekts oder um Hintergrundlicht handelt. Parallel zu dieser Detektion zählen die Wissenschaftler, wie viele Laserpulse auf das Objekt treffen mussten, bevor der Detektor das erste Photon registriert hat. Aus der Zeit, die zwischen dem zuletzt ausgesandten Puls und dem ersten detektierten Photon verstrichen ist, berechnen sie die Entfernung des betreffenden Objektpunktes. Die Zahl der Pulse nutzen sie als Maß für die Reflektivität des Objekts. Wie beim LIDAR üblich rastert der Laser das Objekt punktweise ab – im Experiment mit 226 ps dauernden Pulsen bei 10 MHz Wiederholrate und 0,6 mW mittlerer Leistung. Die Objekte waren 1,5 m bis 2,5 m entfernt.

Die noch stark verrauschten Bilder verbesserten die Forscher mit Bildverarbeitungsmethoden. Für ein Megapixel dauert die Datenaufnahme derzeit 20 Minuten, die Optimierung der Bilder am PC drei. Die 3D-Rekonstruktion weicht im Mittel nur um vier Millimeter von der eines konventionell betriebenen LIDAR-Systems ohne Hintergrundrauschen ab.

■ 3D-Bilder auf die Schnelle

Ein einfaches Hilfsmittel ermöglicht die Fluoreszenzmikroskopie empfindlicher oder rasch veränderlicher biologischer Proben.

Um das Verhalten von biologischen Systemen besser zu verstehen, ist es heute von großem Interesse, den räumlichen Abstand von Molekülen von einer Oberfläche mit einer Auflösung im Nanometerbereich messen zu können. Vor allem optische Fluoreszenzverfahren wären



Externe Spannmitglieder von Brücken (links unten im Inset zu sehen) verlaufen in Hohlräumen unterhalb der Fahrbahn. Eine Fourier-Analyse ihrer Schwingungen liefert Hinweise auf Schäden.

cken mit externen Spannmitgliedern verlaufen unterhalb der Fahrbahn in einem Hohlraum Stahlseile, die dem gegen Zugkräfte wenig widerstandsfähigen Beton die nötige Stabilität verleihen. Bei Schrägseilbrücken wiederum ist die Fahrbahn an Stahlseilen aufgehängt, die von der Fahrbahn bis zu einem Pylon gespannt sind.

Nagt an einem der Stahlseile der Rost, verändert sich im Laufe der Zeit dessen Schwingungsverhalten. Die Wissenschaftler machen sich dabei zunutze, dass Änderungen in der Frequenz quadratisch in die Berechnung der Spannkraft des Seils eingehen. Sie erfassen diese Veränderungen mit Piezosensoren. Für die Analyse des Frequenzspektrums genügt es bereits, die erste Oberschwingung zu betrachten. Die Analyse kann daher mit einem



3D-Rekonstruktion eines Balls und einer Dose mit der Erstphotonenbildsynthese.

1) A. Kirmani et al., Science Express, DOI:10.1126/science.1246775

2) K. Elsayad et al., PNAS, DOI:10.1073/pnas.1307222110

3) K. Bartholomé et al., J. Electron. Mater., DOI:10.1007/s11664-013-2863-x

wünschenswert, da sich so die relevanten Moleküle markieren lassen, ohne dass das Gesamtsystem in seiner Funktionsweise sonderlich beeinträchtigt wird. Heutige Ansätze bringen für 3D-Bilder jedoch eine langwierige Datenaufnahme mit sich, weswegen sie bei optisch empfindlichen oder dynamisch veränderlichen Proben an ihre Grenzen stoßen. Wissenschaftler des Wiener Forschungsinstituts für Molekulare Pathologie, der TU Wien, der Uni Würzburg und des Instituts für Molekulare Biotechnologie in Wien ist es gelungen, diese Hürde zu überwinden.²⁾

Anstatt die Probe langwierig zu scannen, setzen sie die Tiefeninformation dank der Fluoreszenzmarker in eine Farbinformation um. Die Wissenschaftler beschichteten einen Objektträger aus Quarzglas mit dünnen Schichten aus Silber und einem Dielektrikum. Darauf platzierten sie die fluoreszenzmarkierte Probe. Emittiert die Probe Licht, gelangen Teile davon direkt zum Detektor, andere Teile werden an der Schichtstruktur reflektiert und interferieren dann mit dem emittierten Fluoreszenzlicht. Aus dem Interferenzmuster lassen sich charakteristische Wegunterschiede rekonstruieren – bei einer z-Auflösung von 5 bis 10 nm über einen Tiefenbereich von 10 bis 150 nm über dem Substrat. Die Aufnahme eines 3D-Bildes erfordert so nicht mehr Zeit als die eines 2D-Bildes. Dabei bedarf es nur einer für die Interferenz geeigneten Schichtstruktur, ansonsten genügt ein konfokales Mikroskop mit spektraler Auflösung. Die Forscher haben ihr Verfahren bereits an Zellen und Proteinen erprobt.

■ Wärme zu Spannung

Aus Halb-Heusler-Legierungen lassen sich effiziente thermoelektrische Module aufbauen.

Dank Thermoelektrik lassen sich Temperaturgradienten in Strom- oder Spannungsänderungen wandeln. Obwohl das Prinzip, das durch den Seebeck-, Peltier- und Thomson-Effekt physikalisch be-



Die Quader des thermoelektrischen Materials haben die Forscher auf einer Keramikplatte befestigt und über ein Lötverfahren mit Kupferelektroden kontaktiert.

schrieben wird, schon sehr lange bekannt ist, steckt die Technologie bei der Verwendung von Ab- oder Prozesswärme noch in den Kinderschuhen. Das beginnt bereits bei den genutzten Materialien. So hat zum Beispiel das oft zum Kühlen eingesetzte Bismutellurid den Nachteil, dass Tellur viel zu selten auf der Erde vorkommt, um es für Massenanwendungen wie etwa die Nutzung der Wärme von Fahrzeugabgasen einsetzen zu können. Mit Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius bietet die Wärme des Abgasstroms aber eine Chance, die Gesamteffizienz eines Fahrzeugs zu erhöhen und so den CO₂-Ausstoß zu senken.

Eine Alternative zu klassischen Materialien sind Halb-Heusler-Legierungen. Diese zeigen einen relativ großen Seebeck-Effekt. Bislang sind solche Legierungen für thermoelektrische Anwendungen nur im Labormaßstab hergestellt worden. Das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg, die Uni Mainz sowie die Unternehmen Isabellenhütte, Vacuumschmelze und Bosch haben nun in einem Projekt geeignete Halb-Heusler-Legierungen identifiziert, sie in Kilogrammengen hergestellt und in thermoelektrischen Modulen verbaut und getestet.³⁾ Die Labormuster haben Kantenlängen von einigen Zentimetern und erreichen Leistungsdichten von mehr als einem Watt pro Quadratzentimeter. In den Modulen sind einzelne Quader aus dem Halb-Heusler-Material in Reihe geschaltet. Essenziell für gute Leistungswerte sind dabei geringe Kontaktwiderstände, die durch ein spezielles Lötverfahren erreicht wurden.

Michael Vogel