



< Zur automatisierten Messung von Feuchte in Tunneln setzt Fraunhofer IPM erstmals auf multispektrales Laserscanning. Feuchte Stellen am Tunneleingang (obere Reihe) und an einer Tunnelwand (untere Reihe) sind anhand von Absorptionsinformationen (hier rot) gut erkennbar.

Multispektraler Laserscanner erkennt Feuchte im Tunnel

Feuchte ist neben Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit ein wichtiger Parameter bei der Zustandsüberwachung von Tunnelbauwerken. Fraunhofer IPM hat seinen Clearance Profile Scanner CPS, der zur millimetergenauen Vermessung von Bahnstrecken eingesetzt wird, nun zusätzlich mit einem multispektralen Phasenscanner ausgerüstet. Der CPS² misst nun zusätzlich zur Geometrie auch die Feuchte der erfassten Objekte.

Allein in Deutschland müssen über vierhundert Straßen-, Eisenbahn- und U-Bahn-Tunnel regelmäßig überprüft werden – einige davon sind viele Jahrzehnte alt. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung der Tunnel reichen Jahr für Jahr an die Milliardengrenze. Umso erstaunlicher ist es, dass die Zustandserfassung der Bauwerke heute noch immer weitgehend manuell erfolgt und eine Vollsperrung des Bauwerks erfordert. Die gemessenen Daten sind aufgrund der verschiedenen Messmethoden heterogen und liegen nicht immer digital vor. Heute zum Teil schon eingesetzte mobile Laserscanner versprechen Abhilfe, denn sie haben zahlreiche Vorteile gegenüber den traditionellen Messverfahren: Sie sind schnell, präzise, beleuchtungsunabhängig und liefern digitale, ortsreferenzierte Messdaten.

Erster multispektraler Phasenscanner

Während für die grobmaschige Erfassung von Objekten in der Regel LiDAR-Lösungen (Light Detection and Ranging) auf Basis des Pulslaufzeitverfahrens (Time of Flight, ToF) verwendet werden, setzt Fraunhofer IPM beim CPS auf das Phasenvergleichsverfahren. Mit einer relativen Messgenauigkeit von 1 bis 5 mm bei einer Messrate von 2 MHz erweist es sich als deutlich leistungsfähiger als ToF-basierte Systeme und eignet sich somit für die Erstellung präziser digitaler Repräsentati-

onen von Bauwerken oder deren Umgebung. Laserscanner, die mit mehreren unterschiedlichen Wellenlängen messen, werden bisher ausschließlich als ToF-Systeme von einigen wenigen Herstellern am Markt angeboten und vorwiegend in luftgestützten Anwendungen eingesetzt. Dazu zählen die Bathymetrie oder das Kartographieren von Vegetation. Die Systeme sind mit Abmessungen von zirka einem Kubikmeter und einem Gewicht von mehr als 70 kg sperrig und schwer. Neben der im Vergleich zu Phasenlaufzeitverfahren geringen Auflösung und Messrate erweist sich die fehlende Augensicherheit (Laserklasse 4) als nachteilig in der praktischen Anwendung. Mit dem CPS² hat das Team erstmalig einen multispektralen Phasenscanner entwickelt, der schnelles, präzises und multispektrales Laserscanning von mobilen Plattformen aus ermöglicht. Das handliche System mit Abmessungen von etwa 30 cm × 30 cm × 30 cm arbeitet mit einem augensicheren Laserscanner der Klasse 1.

Für die geometrische Messung nutzt der CPS in seiner ursprünglichen Version einen Laser mit einer Wellenlänge im nahen Infrarot von 1500 nm. Für die Feuchtemessung wurde nun beim CPS² die Wellenlänge auf 1450 nm reduziert – dort liegt der spektrale Fingerabdruck von Wasser. Zusätzlich wurde ein Laser mit 1320 nm Wellenlänge in das System inte-

griert. Hier weist Wasser keine Absorption auf, sodass dieser Laser als Referenz dient. Eine Vergleichsmessung der beiden Wellenlängen, also auf und direkt neben der Absorptionslinie von Wasser, zeigt, ob Wasser an der Oberfläche des Messobjekts vorhanden ist. Die Geometriemessung kann wiederum mit beiden Lasern gleichzeitig stattfinden.

Im CPS² kommt die **DIFFERENZIELLE OPTISCHE ABSORPTIONSSPEKTROSKOPIE (DOAS)** zum Einsatz. DOAS ist gängige Praxis beispielsweise zur Feuchtigkeitsbestimmung in Lebensmitteln. Zwei kollinear ausgesendete Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge tasten die Objektfläche ab. Die Strahlen werden sehr spezifisch von Wasser absorbiert. Mit 1450 nm Wellenlänge ist der Messstrahl entsprechend der Absorptionsbande von Wasser gewählt. Der zweite Laser mit 1320 nm Wellenlänge liegt außerhalb dieser Absorptionsbande und dient als Intensitätsreferenz. Der Feuchtwert ergibt sich aus der Intensitätsanalyse der beiden Signale. Die aufgezeichneten Intensitätswerte beider Wellenlängen werden auf die Soll-Intensitäten eines idealen trockenen Ziels mit einem lambertianischen Streuverhalten und einem Reflexionsvermögen von ca. 90 Prozent normiert. Dadurch wird es möglich, auch zwischen verschiedenen Feuchtwerten (z. B. stark, mittel, schwach) sehr präzise zu differenzieren und die Verringerung der Gesamtintensität durch Materialveränderungen, Farbe, Schmutz usw. zu berücksichtigen.

griert. Hier weist Wasser keine Absorption auf, sodass dieser Laser als Referenz dient. Eine Vergleichsmessung der beiden Wellenlängen, also auf und direkt neben der Absorptionslinie von Wasser, zeigt, ob Wasser an der Oberfläche des Messobjekts vorhanden ist. Die Geometriemessung kann wiederum mit beiden Lasern gleichzeitig stattfinden.

Auf die Schiene gesetzt: Tests demonstrieren Einsatztauglichkeit des Systems

Gemeinsam mit Firmen aus dem Bereich der Tunnelinspektion aber auch mit Bahnunternehmen wurden im Laufe des Jahres 2019 Testmessungen an mehreren Standorten in Europa durchgeführt. Hierzu wurde der CPS² mit Positionierungssensorik ausgestattet und – montiert auf einem handgeschobenen, gleisgebundenen Wagen – durch den Tunnel gefahren. In der verwendeten Konfiguration lag die Messrate für beide Wellenlängen bei 2 MHz. Bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 5 km/h wurde die Tunnelwand mit einer lateralen Auflösung von etwa 3 × 7 mm² aufgenommen. Hochauflösende Testmessungen an einem Tunneleingang und einer Tunnelwand zeigen, dass die Feuchte an der Oberfläche des Bauwerks (Bild Mitte) zuverlässig detektiert wird. Zusätzlich zu Feuchte werden auch Geometrie und Oberfläche der Tunnel-

wände millimetergenau erfasst, sodass Verformungen, Risse und Abplatzer bestimmt werden können. Mit dem CPS²-System konnten so erstmalig Wassereinbrüche, Oberflächendefekte und Geometrie gleichzeitig digital und ortsreferenziert bei nur einer Durchfahrt durch den Tunnel aufgenommen werden. Zudem erkennt das System Vegetation eindeutig (siehe Bild obere Reihe), da auch diese viel Wasser enthält und somit im Infrarot einen spektralen Fingerabdruck aufweist. Der CPS² kann somit auch zur Vegetationsdetektion zum Beispiel entlang von Gleisen genutzt werden.

Neuartige Ablenkeinheit für höhere Geschwindigkeit

Gemeinsam mit europäischen Firmen arbeitet Fraunhofer IPM derzeit im Eurostars-Projekt OpOrTunty am Tunnelinspektionssystem TIS, einer erweiterten Version des CPS². Eine neuartige Ablenkeinheit soll in Zukunft die Kombination mehrerer Laser ermöglichen. Ziel ist es, die Messgeschwindigkeit weiter zu erhöhen, um Wassereinbrüche, Oberflächendefekte und Geometrie gleichzeitig mit lateraler Auflösung im Millimeterbereich bei einer Durchfahrtsgeschwindigkeit von 80 km/h aufzunehmen. So wäre zur Zustandserfassung keine Sperrung des Tunnels mehr nötig.