

Tunnelinspektion

# Wenn der Laserscanner Nässe erkennt

Das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM hat mit dem Tunnel Inspection System (TIS) einen neuartigen, multispektralen Laserscanner entwickelt, der nicht nur die Oberflächenstrukturen, sondern auch Feuchtigkeit misst. Dabei ist er so schnell, dass Sperrungen für Inspektionen bald der Vergangenheit angehören könnten.

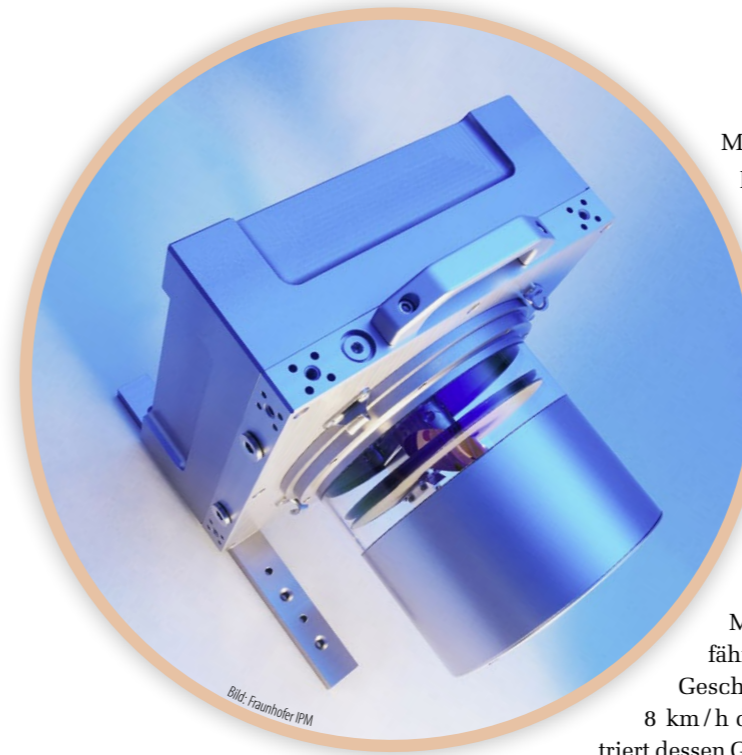
Von Stefan Breitenmoser

Die Schweiz ist ein Land der Tunneln. Nicht nur verfügen wir mit dem Gotthard-Basistunnel über den längsten Eisenbahntunnel der Welt, wir sind auch sonst mit insgesamt rund 1300 Tunneln und Stollen in vielen Ranglisten ganz vorne mit dabei. Während es in Deutschland beispielsweise rund 400 Strassen- und Eisenbahntunnels gibt, sind

es in der Schweiz über 900. Die Strecke dieser Tunneln zusammengenommen würde locker von Sizilien bis Dänemark reichen. Klar ist somit, dass der Wartung und Instandhaltung eine entscheidende Rolle zukommt. Bis heute werden die Tunneln aber vornehmlich von Inspektoren abgelaufen, da andere Instrumente zurzeit noch fehlen oder nicht die gewünschten Resul-

tate liefern. Genau hier setzt der neuartige Laserscanner des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM an.

Zwar kommen heute schon mobile Laserscanner zum Einsatz, doch das neuartige Tunnel Inspection System (TIS) des Fraunhofer IPM verfügt über zwei entscheidende Vorteile. Erstens ist es der schnellste Laserscanner der Welt, da das System zwei



Mit Massen von 30 x 30 x 30 Zentimetern ist der Prototyp des TIS äusserst kompakt und trotz selbst extremen Temperaturen.

Millionen Messpunkte pro Sekunde misst. Und zweitens kann es erstmals auch Feuchtigkeit erkennen, da TIS mit zwei Wellenlängen arbeitet. Ausserdem ist der Prototyp mit Massen von 30 x 30 x 30 Zentimetern äusserst kompakt und trotz Temperaturen von minus 50 bis plus 50 Grad Celsius. «Ans Messfahrzeug montiert fährt der Scanner mit einer Geschwindigkeit von bis zu 8 km/h das Objekt ab und registriert dessen Gesamtgeometrie und bei mehrmaligem Vermessen die entsprechenden Veränderungen», erläutert Alexander Reiterer, Abteilungsleiter Objekt- und Formfassung am IPM in Freiburg. Damit würden Sperrungen überflüssig.

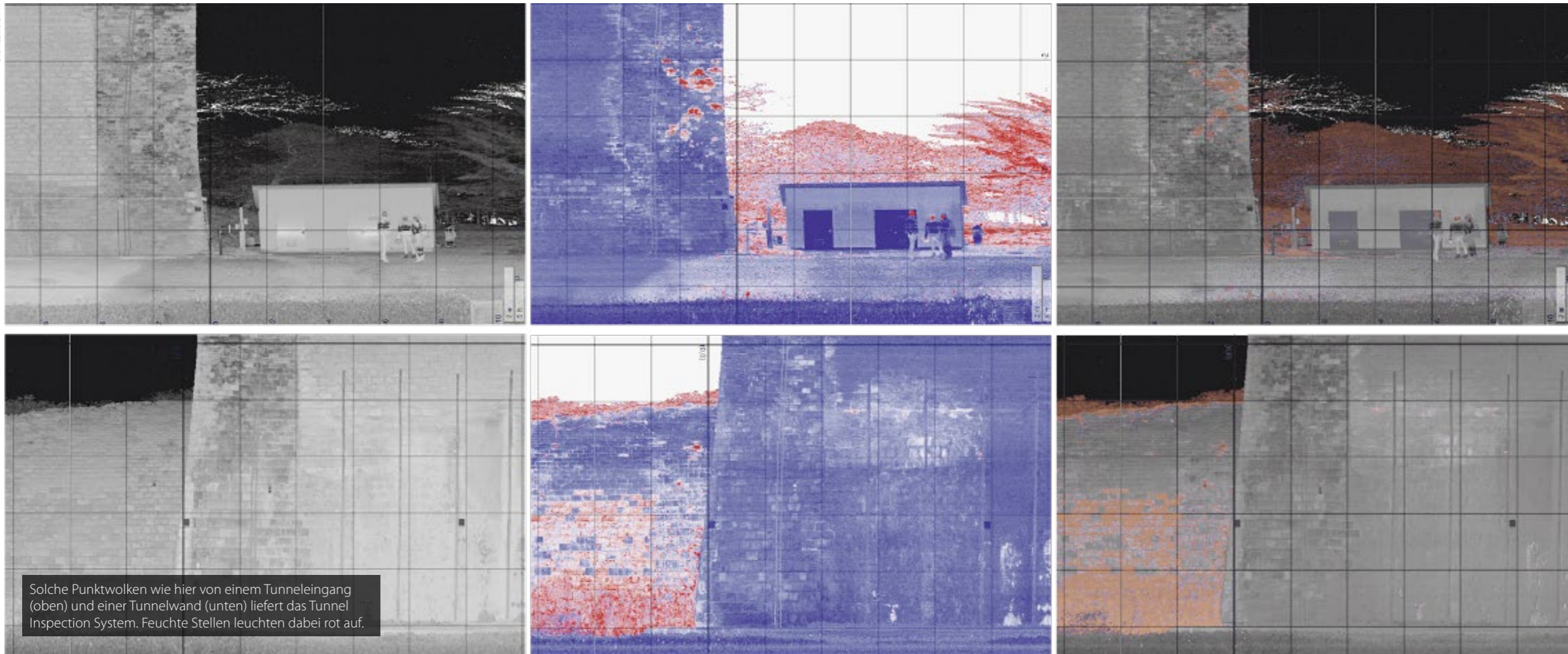
## Infrarotlicht auf Wasser

Doch wie funktioniert das genau? Zuerst einmal wendet TIS nicht die von den meisten Laserscannern verwendete Lichtlaufzeitmessung an, wobei die Laufzeit des Lichts vom Emitter zum Objekt und zurück zum Detektor gemessen und somit auf die Distanz geschlossen werden kann. TIS hingegen basiert auf dem Phasenvergleichsverfahren. «Dabei wird die Intensität des Senders hochfrequent moduliert. Die Laufzeit des Lichts zum Ziel und wieder zurück wird aus der Phasenverschiebung zwischen Send- und Empfangssignal gewonnen», so Reiterer. Das Phasenvergleichsverfahren hat den Vorteil, dass es schneller und genauer ist, da es eben auch Phasen und nicht nur vollständige Amplituden des Lichts misst. So können sogar Veränderungen im Submillimeterbereich erkannt werden. «Der Nachteil ist, dass irgendwo bei 200 Metern Schluss ist. Mit der Lichtlaufzeitmessung kann man hingegen sogar die Distanz zum Mond messen», erläutert der Forscher. Insofern konkurrieren sich die beiden Verfahren nicht, aber für Tunneln – TIS hat ungefähr eine Reichweite von 80 Metern – liefert das Phasenvergleichsverfahren präzisere Resultate.

Mit den erwähnten zwei Millionen Messpunkten pro Sekunde ist TIS der schnellste Laserscanner der Welt. Das heisst, der Messstrahl legt zwei Millionen Mal pro Sekunde die Distanz vom Messgerät zum untersuchenden Objekt – im Tunnel meist eine Wand – zurück. Über einen rotierenden Spiegel wird der Messstrahl 200 Mal pro Sekunde in einem 360-Grad-Radius abgelenkt und somit engmaschig über das Messobjekt geführt. «Wir können das Messen des einzelnen Punktes besser und deutlich schneller, da wir führend bei der Behandlung des Laserlichtes und der dazu gehörenden Elektronik sind», meint Reiterer.

Neu ist aber vor allem, dass der Laserscanner zwei Lichtwellenlängen mit unterschiedlicher Wellenlänge (1,320 und 1,450 Nanometer) kollinear aussendet. Erst dadurch wird es möglich, die Oberflächenfeuchtigkeit zu messen, da Wasser diese Wellenlängen unterschiedlich stark, aber sehr spezifisch absorbiert. Die Intensität der gemessenen Signale gibt also Aufschluss über die Feuchte an der Oberfläche der Tunnelwand. «Infrarotlicht wird von Wasser stark absorbiert. Diesen physikalischen Effekt machen wir uns zunutze. Wir verwenden zwei sehr nah beieinanderliegende Wellenlängen, eine wird stark ab-

Bild: Fraunhofer IPM



Solche Punktwolken wie hier von einem Tunnelleingang (oben) und einer Tunnelwand (unten) liefert das Tunnel Inspection System. Feuchte Stellen leuchten dabei rot auf.





Prof. Dr. Alexander Reiterer kann sich vorstellen, TIS noch zu optimieren und daraus eine ganze Produktpalette zu machen.

sorbiert, die andere schwach. Aus der Differenz berechnen wir den Feuchtegrad», erklärt Reiterer. Diesen Effekt könnte man sich zukünftig auch bei der Objekterkennung im Freien zunutze machen. Denn damit wäre es grundsätzlich möglich, dass Laserscanner beispielsweise Laub von Nadelbäumen unterscheiden, da diese Wasser unterschiedlich speichern.

### Risse entdecken

Zurzeit liegt der Prototyp vor und wird von verschiedenen, potentiellen Kunden getestet. In der Schweiz ist das Fraunhofer IPM insbesondere mit der Firma Amberg in engem Austausch, die mit TIS schon mehrtägige Testreihen im eigenen Bergwerkstollen durchgeführt hat. Grundsätzlich war man mit den Resultaten so zufrieden, dass TIS gar an Messeständen von Amberg präsentiert wurde. Dabei konnte man einen Steinblock mit einem Luftbefeuchter besprühen und sah dann auf der vom Scanner produzierten und BIM-konformen Punktwolke auf dem Bildschirm sofort, dass diese an den feuchten Stellen die Farbe änderte.

«Amberg sieht im System viele Vorteile und bietet es Kunden bereits an», sagt Reiterer. Denn hochaufgelöste, georeferenzierte und digitale Messdaten seien eine wichtige Voraussetzung für ein langfristi-

ges Infrastruktur-Monitoring. «Das Interesse an TIS ist sehr, sehr gross.»

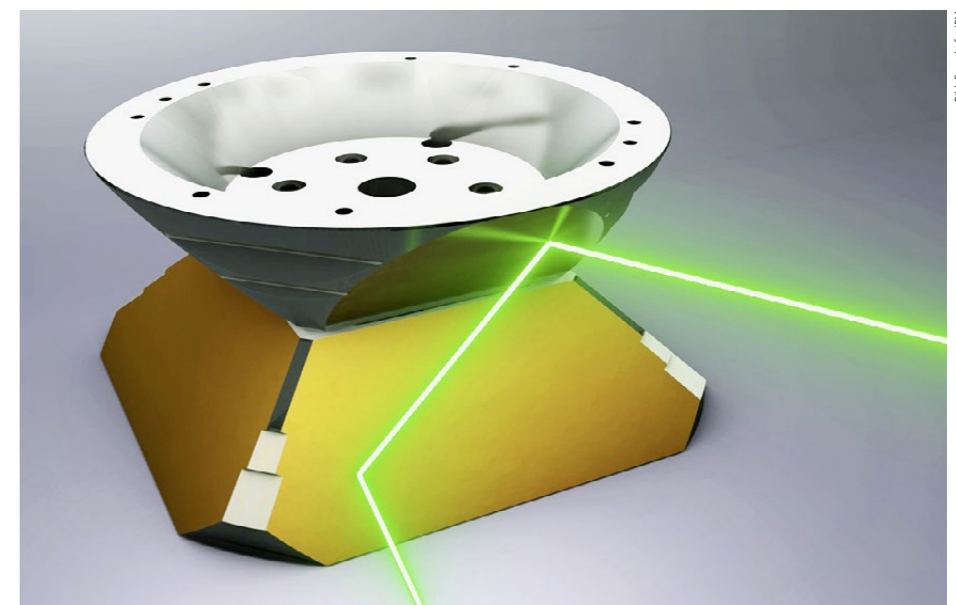
Trotzdem stellt man sich am Fraunhofer IPM zurzeit die Frage, ob das schon reicht. Denn entscheidend in Tunnels sind vor allem die Risse. «Wir können uns vorstellen, aus TIS eine ganze Produktpalette zu machen», erklärt Reiterer. Um manuelle Tunnelinspektionen komplett abzulösen, müssten aber auch kleinste Risse erkannt werden und dafür müsste nochmals die Punktdichte erhöht werden. Laut dem Forscher ist es möglich, dass man mit dem bereits vorliegenden System sogar auf vier Millionen Punkte pro Sekunde und 300 Umdrehungen des Spiegels kommen könnte. Danach stösse man aber auf physikalische Grenzen. Denn schliesslich sei ein Spiegel Masse, die gedreht werden müsse. «Um den Spiegel also noch schneller zu drehen, müsste man ihn kleiner machen. Bei einem kleineren Spiegel ist es aber schwieriger, das Licht wieder einzufangen. Das heisst, die Resultate werden dann ungenauer», erklärt Reiterer. Insofern handle es sich um ein Henne-Ei-Problem. Er rechnet aber damit, dass 300 Herz Umdrehung des Spiegels und eine Erhöhung der Messpunkte pro Sekunde bereits reichen, um selbst kleine Risse zu erkennen. «Dafür brauchen wir aber noch etwas Entwicklungszeit.»

### Ein neuartiger Spiegel

Doch natürlich denkt der Forscher bereits weiter. Denn helfen bei der nochmaligen Optimierung des TIS (und somit bei einer Diversifizierung der Produktpalette) könnte auch ein total überarbeiteter Spiegel, der in Form eines Doppelpyramidenstumpfes daherkommt (siehe Bild Seite 41). «Beim Doppelpyramidenstumpf scannt jede Pyramidenseite nur ein Segment, was den Vorteil hat, dass die Punkte nur auf diesem Segment verteilt sind. So wird die Punktdichte sehr hoch, da wir quasi die 360-Grad-Abmessung auf ein Segment herunterbrechen», erklärt Reiterer. Und das mache man dann für vier, sechs oder acht Segmente über 360 Grad verteilt. So könnte man theoretisch die Punktdichte auf einzelne Segmente so verdichten, dass selbst winzige Risse zu erkennen wären. Ausserdem könnte man einzelne Segmente priorisieren, da in einem Tunnel wohl die Wände und die Decken interessanter sind als der Boden. «Der Doppelpyramidenstumpf hat den grossen Vorteil, dass wir eine sehr hohe räumliche Auflösung bekommen. Er hat aber auch den Nachteil, dass wir für jedes Segment dieses Doppelpyramidenstumpfes eine eigene Messsensorik brauchen. Und das gibt dann ein ziemliches Kanonenrohr», so der Forscher. «Wir können aber erst aller kleinste Risse

entdecken, wenn wir viele Punkte pro Quadratmeter detektieren. Und mit einem konventionellen Spiegel schaffen wir das nur bis zu einem gewissen Punkt. Da sind wir dran, aber erst im Labor.»

Für das Fraunhofer IPM ist also selbst mit dem Durchbruch beim Messen von Feuchtigkeit mittels Laserscanner noch längst nicht aller Tage Abend. Sowieso beschäftigt sich die Abteilung «Objekt und Formerfassung» natürlich nicht nur mit Tunnels, sondern allgemein mit Systemen zur 3D-Erfassung der Geometrie und Lage von Objekten. Das Spektrum der Messsysteme reicht von hochkomplexen multispektralen Laserscannern bis zum Smartphone als Messgerät. Allein bei der Bahntechnik gibt es diverse Systeme, die beispielsweise gar die Abnutzung von Fahrdrähten automatisiert erkennen. Ein grosses Thema dabei ist immer die Objekterkennung mittels Machine Learning. Denn die Systeme sollen mittels eigens entwickelter Algorithmen so trainiert werden, dass sie unterscheiden können, ob es sich um einen Laternenpfahl, einen Riss oder eine Hecke handelt. Sie sollen nämlich jedem Datenpunkt die Zusatzinformation zuordnen können, zu welchem Objekt er gehört, um daraus umfangreiches Kartenmaterial automatisiert abzuleiten. Und wenn hierbei der Feuchtigkeitsgrad



Der Doppelpyramidenstumpf würde dafür sorgen, dass Risse noch zuverlässiger entdeckt werden, da er die Punktdichte nochmals massiv erhöht.

der Oberfläche Rückschlüsse über die Art des Objekts zulässt, ist das natürlich ein grosser Fortschritt.

### Marode Infrastruktur

«Wir wollen immer, dass unsere Messsysteme genauer und schneller werden und die Daten semantisch besser interpretieren», sagt der Abteilungsleiter Reiterer. In

TIS hegt er aber schon jetzt grosse Hoffnungen, auch wenn es zurzeit in der Praxis noch nicht im Einsatz ist, obwohl man den Prototyp «im Prinzip» kaufen könne. «Mich als Forscher interessiert aber sowieso immer das Nächste und nicht Stückzahlen», so Reiterer. Dennoch sieht er schon jetzt die Vorteile von TIS. Denn im Gegensatz zu kamerabasierten Verfahren liefere der multispektrale Laserscanner auch bei schlechten Lichtverhältnissen georeferenzierte 3D-Daten, die automatisiert ausgewertet werden können. «Die Verkehrsinfrastrukturen in Europa sind vielerorts in einem maroden Zustand, sie müssen unbedingt zeitlich engmaschiger und detaillierter überwacht werden. Dies funktioniert nur mit Messsystemen, die eine effiziente Inspektion erlauben. Mit TIS haben wir jetzt ein multimodales System, das es erstmals erlaubt, Geometrie, Struktur und Feuchte gleichzeitig zu erfassen. Das ist ein grosser Fortschritt in Bezug auf Kosten, Geschwindigkeit und Effizienz», resümiert der Wissenschaftler. Und wenn sogar noch kleinste Risse bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h entdeckt werden, dürfte es nicht mehr lange gehen, bis gewisse Züge standardmässig mit solchen Systemen ausgestattet werden. Und spätestens dann dürfte das Abschreiten eines Tunnels mit einer Taschenlampe der Vergangenheit angehören. Ganz zu schweigen von den mühsamen Umfahrungen und Staus, wenn wieder mal ein Tunnel für eine Inspektion gesperrt werden muss. ■



Inspektionen – wie hier im Hohlraum einer Brücke – finden meist manuell statt. Das heisst, die Infrastruktur wird relativ aufwändig mit einer Taschenlampe abgelaufen, wofür insbesondere Tunnels oft gesperrt werden müssen.