

Einsatz von Lichtwellenleitern zur Überwachung von Ingenieurbauten und Naturphänomenen

Monitoring of Civil Engineering Structures and Natural Phenomena with Fibre Optic Cables

Werner Lienhart

Das Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS) der TU Graz beschäftigt sich seit mehr als zehn Jahren mit dem Einsatz von faseroptischen Messverfahren basierend auf Lichtwellenleitern zur Überwachung von Bauwerken und Naturphänomenen. Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Sensoren können Veränderungen von Bauwerken und Rutschhängen frühzeitig detektiert und Gegenmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden.

Lichtwellenleiter sind das Rückgrat der heutigen wissensbasierten Gesellschaft. Sie ermöglichen die schnelle Datenübertragung über lange Distanzen. Ziel ist dabei die störungsfreie Übertragung, unabhängig von den Umgebungsbedingungen entlang der Übertragungsstrecke. Am IGMS wird an der inversen Fragestellung geforscht: Wie können Störeffekte entlang der Lichtwellenleiter benutzt werden, um Temperaturänderungen und Verformungen von Objekten zu messen?

In den Forschungsschwerpunkten faseroptische Sensorik und Structural Health Monitoring entwickelt IGMS faseroptische Sensoren, Kalibrierverfahren und Auswertemethoden zur Überwachung von Ingenieurbauten und zur Beobachtung von Naturphänomenen.

Structural Health Monitoring mit faseroptischen Sensoren

Faseroptische Sensoren können direkt in Überwachungsobjekte eingebettet werden und daher Messwerte an Orten liefern, welche mit anderen Messverfahren nicht zugänglich sind. Diese Eigenschaft wurde von IGMS zur Überwachung der Hangbrücke Minkelkehre in der Nähe von Schladming genutzt.

Bei dieser innovativen Hangbrücke ohne Brückenlager und Dehnungsfugen wurden acht faseroptische Sensoren einbetoniert (Abb. 1). Diese Sensoren ermöglichen die Erfassung von

The Institute of Engineering Geodesy and Measurement Systems (EGMS) at Graz University of Technology has had more than 10 years experience in monitoring buildings and natural phenomena using fibre optic measurement systems. These sensors can detect very small changes in the behaviour of buildings and landslides and are therefore well suited as early warning systems.

Fibre optical cables are needed for fast data transmission at high bandwidths and are therefore the backbone of today's knowledge-based society. Research in telecommunication focuses on the data transmission over longer distances by reducing the sensitivity of the cables to distortion effects within the glass fibre. EGMS performs research in the inverse direction: How can signal distortions be used to measure temperature changes and deformations of objects?

To answer this question the research fields Fibre Optic Sensor Technology and Structural Health Monitoring have been established over the last few years at EGMS. The focus of the current research is on the development of new fibre optic sensors, calibration facilities and analysis methods for monitoring civil engineering structures and natural phenomena.

Structural health monitoring using fibre optic sensors

Fibre optic sensors can be embedded within monitoring objects and perform measurements at locations which are not accessible with other measurement techniques. EGMS used this property to monitor the Minkelkehre monolithic bridge in the vicinity of Schladming, Austria.

This concrete bridge is based on an innovative design without extension joints and bridge bearings. Eight fibre optic sensors were embedded in the bridge deck (Fig.1) to measure deformations



Werner Lienhart ist Leiter des Instituts für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme. Sein Forschungsgebiet umfasst die Entwicklung von neuen Messverfahren und Auswertemethoden für die Überwachung von Ingenieurbauten und Rutschhängen.

Werner Lienhart is head of the Institute of Engineering Geodesy and Measurement Systems. His research interests are the development of new sensors and analysis methods for structural health monitoring of civil engineering structures and landslides.



Abb. 1/Fig. 1

© TU Graz/IGMS

Abb. 1: Einbetonieren eines faseroptischen Sensors in ein Brückendeck.

Fig. 1: Fibre optic sensor embedded in concrete bridge deck.

Verformungen aufgrund von Temperaturänderungen (Tagesgängen, Jahresgängen) und die Erfassung von Vibrationen aufgrund des Verkehrs. Gemeinsam mit den geodätischen Messungen an der Oberfläche der Brücke wurden die faseroptischen Messungen zur Kalibrierung des numerischen Modells des Bauwerks verwendet¹. Durch Langzeitmessungen ist es möglich, Änderungen im Reaktionsverhalten des Bauwerks auf Einflussgrößen festzustellen. Eine Änderung des Reaktionsverhaltens erlaubt Rückschlüsse auf den „Gesundheitszustand“ des Bauwerks, wie z. B. die Ermüdung des Materials.

Kalibrierung und Anwendung von faseroptischen Messsystemen

Faseroptische Messsysteme koppeln Licht in Glasfasern ein und werten das rückgestrahlte Licht aus. Bei Temperatur- und Dehnungsänderungen entlang der Glasfaser kommt es zu Änderungen des rückgestrahlten Signals. Je nach Messsystem werden Intensitätsänderungen, Änderungen der Phasenlage oder Frequenzänderungen erfasst. Für die Umrechnung dieser primären Messgrößen in abgeleitete Messgrößen wie Temperatur und Dehnung sind Kennlinien erforderlich. Zur präzisen Bestimmung dieser Kennlinien wurde am IGMS eine eigene Kalibrieranlage entwickelt. Mit dieser Kalibrieranlage können blanke Glasfasern und vorkonfektionierte Sensoren kontrolliert gedehnt werden und die Messwerte mit der Referenzmessung eines Laserinterferometers verglichen werden.

Faseroptische Messsysteme eignen sich sehr gut für Frühwarnsysteme. Aufgrund der hohen Auflösung der Messsysteme können Bewegungsänderungen bereits im Anfangsstadium nachgewiesen werden. Abb. 2 zeigt die Ergebnisse von Messungen eines Dammbuchversuches im Bereich des Murkraftwerks Gössendorf. Aufgrund der hohen Auflösungen von 1/1000 mm kann die Reaktion

caused by temperature changes (daily cycles, yearly cycles) and to measure traffic-induced vibrations. The collected data was analysed together using geodetic measurements to calibrate the numerical model of the structure¹. If these measurements are performed over longer periods, it is possible to detect changes of structural behaviour. These changes can indicate material fatigue and thus can be used to assess the current state of health of the building.

Calibration and applications of fibre optic measurement systems

Fibre optic measurement systems couple light into glass fibres and analyse the backscattered signal. The characteristic of this signal changes in the case of temperature and strain changes along the fibre. Frequency or phase changes are measured, depending on the measurement principle intensity. Calibration curves are needed to convert the detected signal into strain and temperature values. The calibration curves of bare fibres and ready-to-use sensors can be determined using a unique calibration facility which was developed at EGMS. The calibration facility applies predefined strain and compares measurement values from the instrument being tested with reference values derived from a laser interferometer.

Fibre optic sensors are well suited as early warning systems because of their high measurement resolution. Fig. 2 shows the results of a slope stability experiment which was carried out in the vicinity of the Gössendorf hydro-electric power plant. The response of the dam to each loading step can only be measured with the fibre optic sensors due to their measurement resolution of 1/1000 mm. Geodetic measurement systems can resolve the global trend of the movement but not individual loading steps². Similar experiences were had in the ISDR-ADLL project. In this project, EGMS is monitoring the landslide at

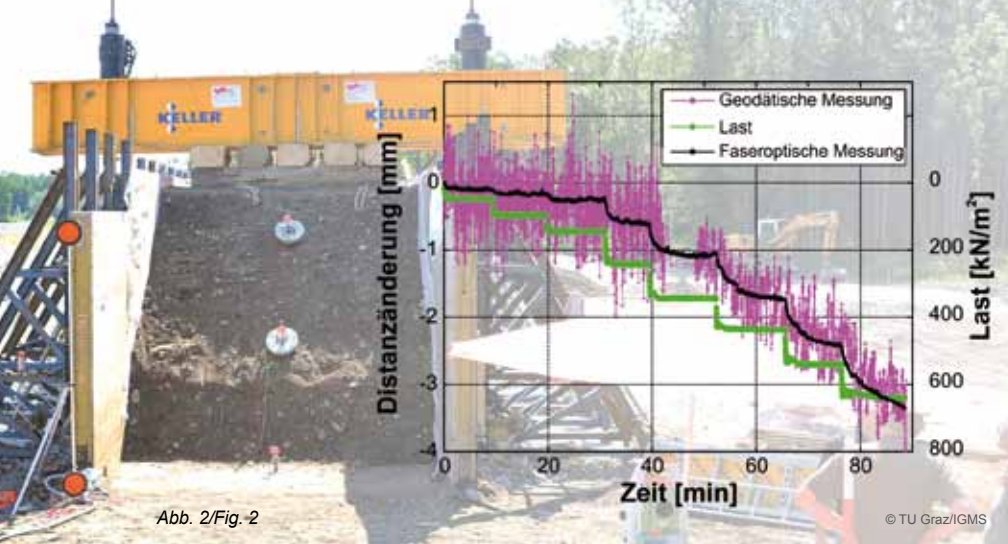


Abb. 2/Fig. 2

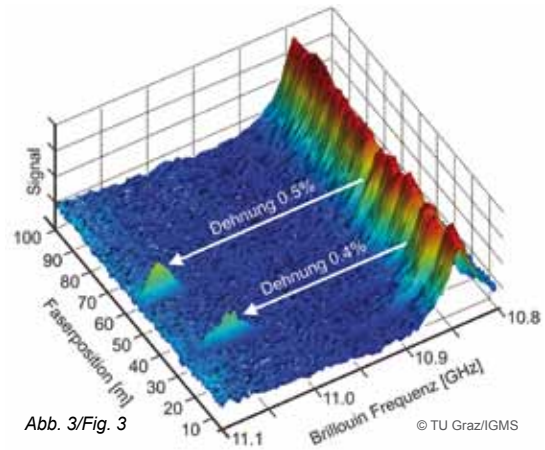


Abb. 3/Fig. 3

des Dammes bei jeder Laststufe erkannt werden. Mit den parallel eingesetzten geodätischen Messverfahren sind die einzelnen Laststufen nicht auflösbar². Ähnliche Erkenntnisse wurden im ISDR-ADLL-Projekt gewonnen. In diesem Projekt untersucht IGMS die Hangrutschung Gradenbach mit kontinuierlichen GPS-Messungen und faseroptischen Sensoren (► <http://gbonline.tugraz.at>)³. Seit April 2013 besitzt IGMS das derzeit österreichweit einzige faseroptische Messsystem zur verteilten Temperatur- und Dehnungsmessung. Durch Auswertung der Brillouin-Rückstreuung kann mit diesem Messverfahren die Temperatur- und Dehnungsverteilung entlang der Glasfaserkabel erfasst werden (Abb. 3). Damit ist es möglich, mit einem einzigen Glasfaserkabel die Temperatur oder Dehnung über mehrere Kilometer zu messen. Mit konventionellen Messverfahren wäre dies nur durch den Einsatz tausender Sensoren machbar.

Fazit

Aufgrund der Einbettbarkeit, der hohen Auflösung und der Möglichkeit der verteilten Messung liefern faseroptische Sensoren neue Erkenntnisse über das Verformungsverhalten von Ingenieurbauten und Naturphänomenen. Gemeinsam mit internationalen Partnerinnen und Partnern in der EU COST Action OFSeSa (Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications) forscht IGMS an der Weiterentwicklung der Sensoren und der Auswertemethoden. ■

► www.igms.tugraz.at

Gradenbach using continuous GPS measurements and embedded fibre optic sensors (► <http://gbonline.tugraz.at>)³.

EGMS is currently the sole owner in Austria of a fibre optic measurement system for the distributed measurement of temperature and strain. Using this measurement system, it is possible to analyse Brillouin backscattered light. The measured signal can also be used to determine local temperature and strain changes along the fibre (Fig. 3). The instrument makes it possible to measure the temperature or strain distribution along several kilometres using one single fibre optic cable. Thousands of conventional sensors would be needed to gain similar results.

Conclusion

It is possible to gain a better insight into the deformation behaviour of civil engineering structures and natural phenomena using fibre optic sensors due to the high measurement resolution and the possibility to embed the sensors in structures. Furthermore, distributed fibre optic sensing can replace thousands of conventional sensors with one single glass fibre. EGMS conducts research in the development of new sensors and analysis methods together with international partners in the EU, including COST Action OFSeSa (Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications). ■

Abb. 2: Distanzänderung einer Dammoberfläche bei vertikaler Belastung.

Fig. 2: Distance changes of a dam surface caused by vertical load.

Abb. 3: Verteilte Dehnungsmessung einer 100 m langen Glasfaser.

Fig. 3: Distributed strain measurements of a 100 m fibre optic cable.

Literatur/References:

- ¹ Lienhart W. (2012), Analyse von Deformationsmessungen mit kausalen Auswertemodellen, Proc. 115. DVW-Seminar Interdisziplinäre Messaufgaben im Bauwesen – Weimar 2012, Band 68: 203–218.
- ² Lienhart W. (2013), Die Bedeutung von faseroptischen Messsystemen für ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen. Proc. 2. Darmstädter Ingenieurkongress – Bau und Umwelt, Darmstadt, Shaker Verlag: 591–595.
- ³ Lienhart W., Brunner FK. (2013), Geodätische Überwachung von gravitativen Massenbewegungen am Beispiel des Gradenbach-Observatoriums. ZfV 138: 64–74.