
FOS als Meilenstein der Ingenieurgeodäsie 4.0

Herbert DÖLLER, Wilhelm JACHS, Günther NEUNTEUFEL und Horst ORTMANN

1 FOS-Technik

1.1 Einleitung – Grundlagen

Der Einsatz von faseroptischen Sensoren (FOS) in der Ingenieurgeodäsie ist ein weiterer Meilenstein dieser Fachdisziplin auf dem Wege zur Industrie 4.0.

Ingenieurgeodätische Beobachtungen im Rahmen von Vermessungs- und Überwachungsaufgaben bei Bahninfrastrukturen haben heute einen sehr hohen Entwicklungsgrad erreicht, besitzen aber Limitationen in der erreichbaren Genauigkeit und bezüglich der Einbettbarkeit in Objekte.

Wesentliche Merkmale der klassischen ingenieurgeodätischen Beobachtung von bewegten Objekten und Infrastrukturen bzw. deren Deformationen sind unter anderem:

- notwendige Diskretisierung durch Objektpunkte;
- Messungen sind nur an der Oberfläche der Objekte möglich;
- die erreichbare Genauigkeit ist auf einige 1/10 mm begrenzt;
- notwendiger Aufbau einer Sensorinfrastruktur (Energie, Kommunikation etc.) vor Ort;
- hoher Betreuungsaufwand der Sensortechnik (z. B.: Robotertachymeter) vor Ort.

Sicherheitsrelevante Aspekte

Das zeitliche Fenster zur Betretung von Bahnanlagen zu messtechnischen Zwecken ist in den letzten Jahren massiv eingeschränkt worden (siehe EisbSV in der geltenden Fassung). Daraus folgt ein klarer Auftrag an die Konzeptentwickler für ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen bzw. -aufnahmen: die Betretungszeiten sind zu minimieren und für Überwachungsmessungen sollen für Wiederholungsepochen „begehungslose“ Ansätze gefunden werden.

Ökonomische Aspekte

Zu den oben erläuterten Umständen kommt durch die vermehrte Trennung von Bahninfrastrukturbetreiber und -nutzer ein enormer finanzieller Druck. Gleissperren, seien sie zeitlich auch noch so eng kalkuliert, stellen einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Demzufolge sind ingenieurgeodätische Arbeiten meist nur mehr innerhalb dringend notwendiger, oder zyklisch stattfindender, Gleissperren (Reparatur- oder Wartungsarbeiten etc.) möglich.

FOS – Fiber Optic Sensing

Der Einsatz von faseroptischen Sensoren (abgekürzt FOS) bietet für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten große Vorteile. Die Lichtwellenleiter sind unempfindlich gegenüber elektrischer- und elektromagnetischer Strahlung, es ist also ein Einsatz in Bereichen möglich, wo

elektrische Messsysteme versagen. Die Messauflösung, z. B. bei der Messung von Dehnungen, liegt im μm -Bereich, womit kleinste relative Änderungen der Messgröße gemessen werden können. Die Messgenauigkeit liegt (abhängig vom Messprinzip) in der Größe von wenigen Prozent. Aufgrund der hohen Sensitivität dieses Messprinzips ist es möglich kleinste Änderung von Messgrößen mit einer hohen Genauigkeit zu messen.

Diese Messsysteme liefern nach der Installation permanent Messdaten, die mittels Datenübertragung zum Nutzer transportiert werden. Es sind dazu an der Messstelle weder Energieversorgung noch Datennetzverbindung notwendig. Die Messdaten werden von der Messstelle über den Lichtwellenleiter bis zu 50 km zur zentralen Messeinheit transportiert.

Durch die permanente Lieferung von Messdaten mit hoher Präzision lassen sich auch Trends bei den zu messenden Größen erkennen.

Zusammengefasst die wesentlichen Vorteile faseroptischer Sensorik:

- hohe Sensitivität/Genauigkeit (μm);
- Überwachung einer Vielzahl an Sensoren über ein Glasfaserkabel;
- kein Aufbau einer aufwendigen Sensorinfrastruktur vor Ort;
- beständig gegenüber Korrosion, Chemikalien, Wasser und Blitzschlag;
- Fernüberwachung über große Distanzen;
- passiv: An der Messstelle wird kein elektrischer Strom benötigt;
- zusätzliche Nutzung des bestehenden Glasfasernetzes;
- Immunität gegenüber elektromagnetischen Feldern.

1.2 Messmethoden

Lichtwellenleiter werden schon seit einigen Jahren als Sensoren für die Messung von mechanischen und physikalischen Größen verwendet. Immer mehr Firmen bringen faseroptische Mess- bzw. Detektionssysteme auf den Markt, die für nachfolgende Applikationen eingesetzt werden können.

Tabelle 1: FOS-Applikationen

Applikation	Sensorprinzip	Anwendungen, exemplarisch
Strain Sensing (Dehnungsmessung diskret)	FBG-Sensor	Brückenmonitoring Tunnelschalenüberwachung Schienendeformation Objektsetzungsmessung Mastenmessung Lastmessung bei Bahn- und Straßeninfrastruktur Rissüberwachung in Objekten Structural health monitoring
DAS (Distributed Acoustic Sensing)	Rayleigh scattering	Stein- und Baumschlagmonitoring Zugmonitoring Murendetektion Zutrittsüberwachung Objektschutz
DAM (Distribuiertes akustisches Monitoring)		

Applikation	Sensorprinzip	Anwendungen, exemplarisch
DTS/DTSS (Distribuierte Dehnungs- und Temperaturmessung)	Brillouin	Fernwärmemessung Fernkältemessung Brandüberwachung Pipelineüberwachung Dammüberwachung Hangrutschung Tragseilüberwachung Zugseilüberwachung Structural health monitoring

1.3 Auswahl praktisch eingesetzter Faseroptischer Sensoren

Bendline©

Das Messsystem Bendline© liefert Messdaten zur Durchbiegung. Bei diesem Messsystem handelt es sich um Aluminiumprofile auf denen FBG-Ketten montiert sind.

Die Bendlines© werden kraftschlüssig angebracht. Während der Messung erfolgt eine Übertragung von vertikalen Deformationen auf die Bendline©. Diese Deformation wird grafisch und quantitativ dargestellt.



Abb. 1: Bendline© angebracht auf einer Eisenbahnschiene

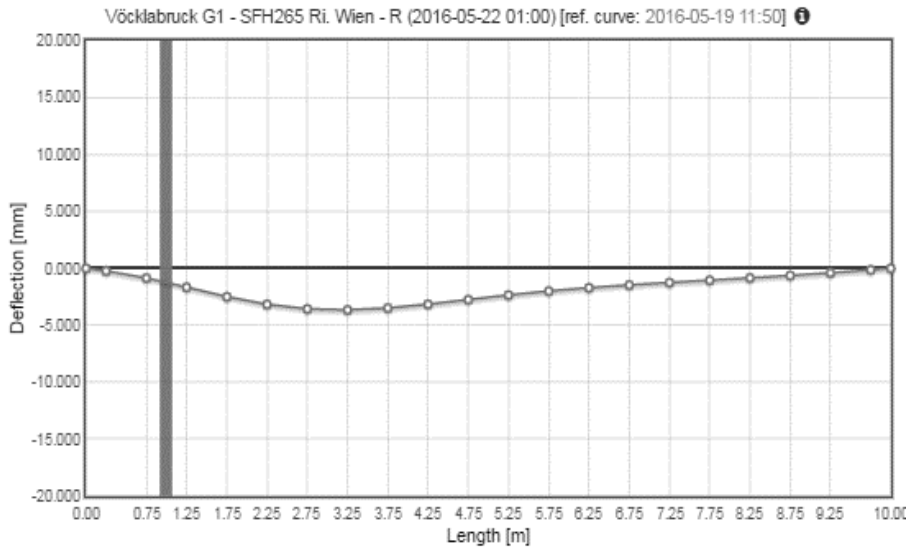


Abb. 2: Messkurve einer Bendline©

Die nachstehende Messkurve zeigt die maximalen Ausschläge der Durchbiegungen während eines längeren Messzeitraumes. Die abrupten Ausschläge nach oben zeigen die Zeitpunkte der Gleisstopfungen, die Nullstellung des Messsystems und die darauffolgenden neuerlichen Setzungen.

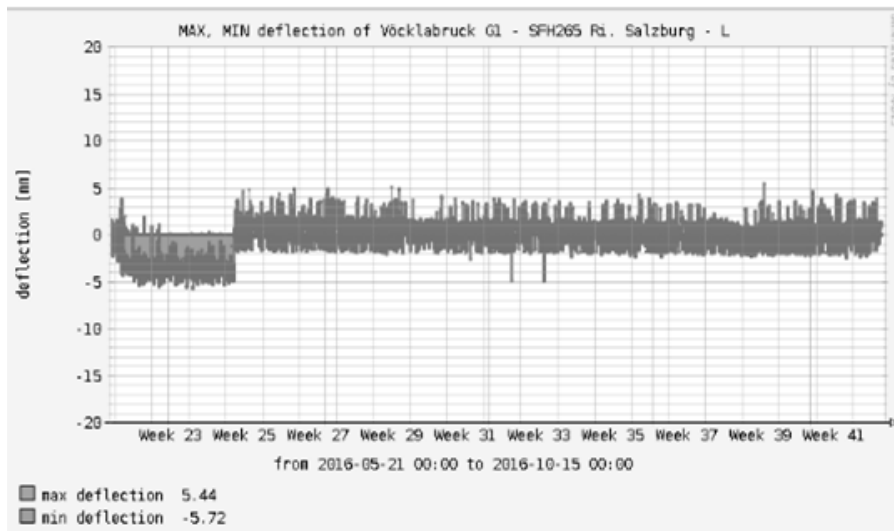


Abb. 3: Messkurve einer Bendline©: maximale Ausschläge eines Messzeitraumes

Object Sense©

Beim Messsystem Object Sense© handelt es sich um eine faseroptische Messmethode, mit der berührungslos absolute Höhenänderungen, statisch und dynamisch, gemessen werden können.

Bei dieser Technik wird von einer zentralen Messeinheit Laserlicht mit 1550 nm zu einer optischen Übertragungseinheit vor Ort (Optical head) und dann über ein optisches Linsensystem über die Luft zu einem Reflektor am Objekt (in unserem Fall das Betonfundament) übertragen. Das reflektierte Licht wird wieder über den Optical head zurück zur Messeinheit übertragen. Über die Veränderungen des reflektierten Lichtsignals können vertikale Bewegungen berechnet werden.

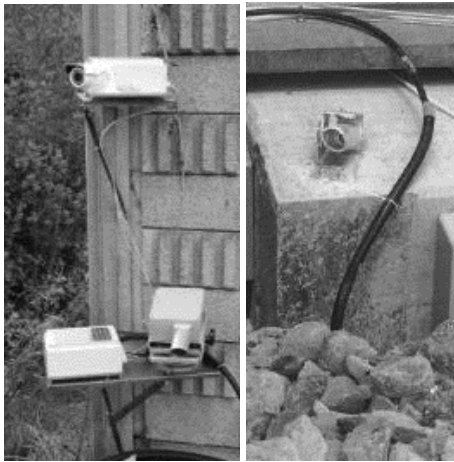


Abb. 4: Object Sense© Kamera (links) und Reflektor (rechts)

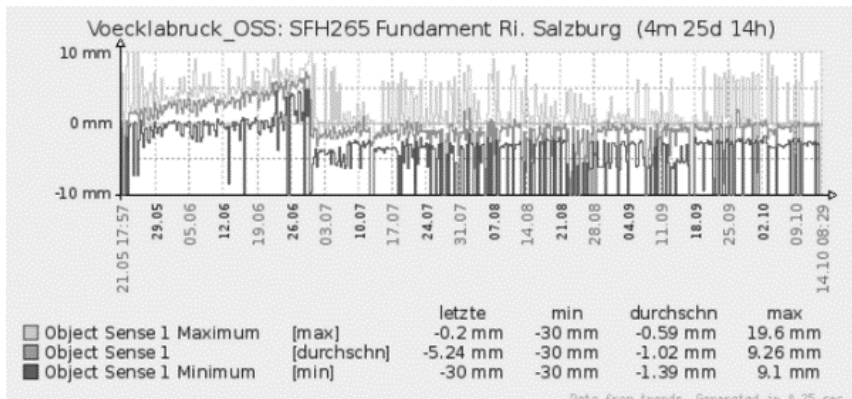


Abb. 5: Messkurve einer Object Sense©

Faseroptischer Beschleunigungssensor

Mithilfe von Beschleunigungssensoren können Vibrationen gemessen werden.

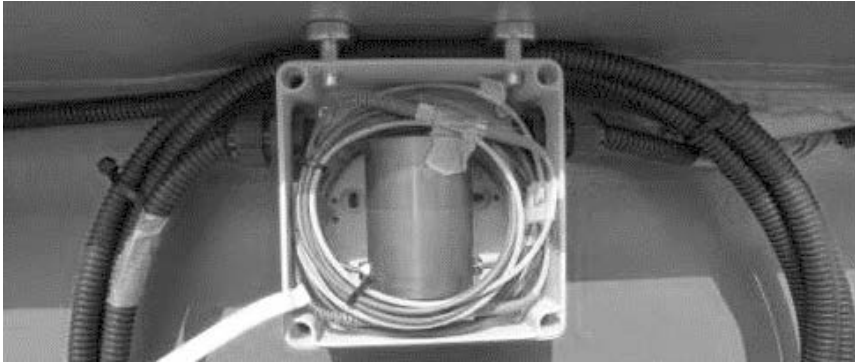


Abb. 6: Aufbau eines faseroptischen Beschleunigungssensors

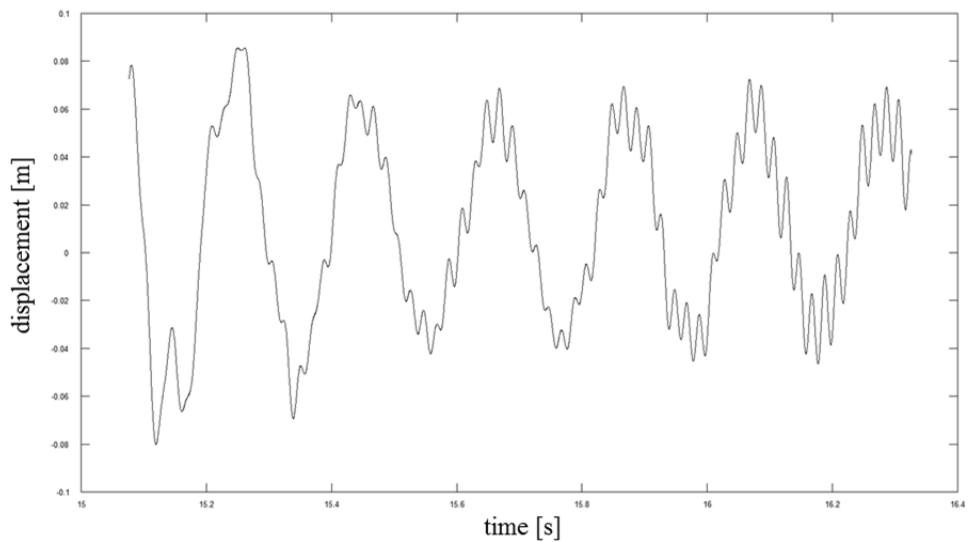


Abb. 7: Messkurve eines faseroptischen Beschleunigungssensors. Der Sensor ist an einer Brücke angebracht und misst deren Vibration.

Faseroptischer Neigungssensor

Neigungssensoren können zum Beispiel an Betonfundamenten von Brücken befestigt werden und liefern dabei deren Neigungsänderung.

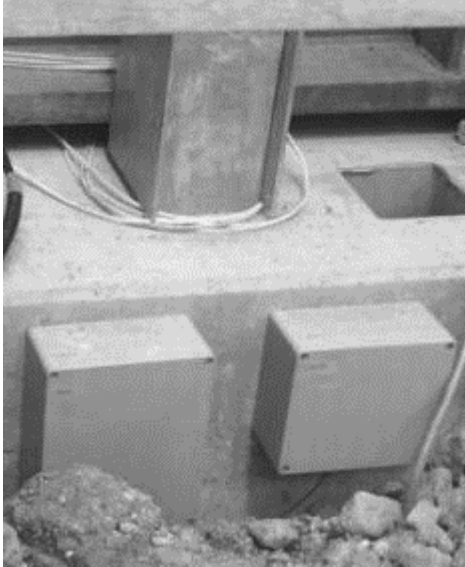


Abb. 8:
Faseroptische Neigungssensoren

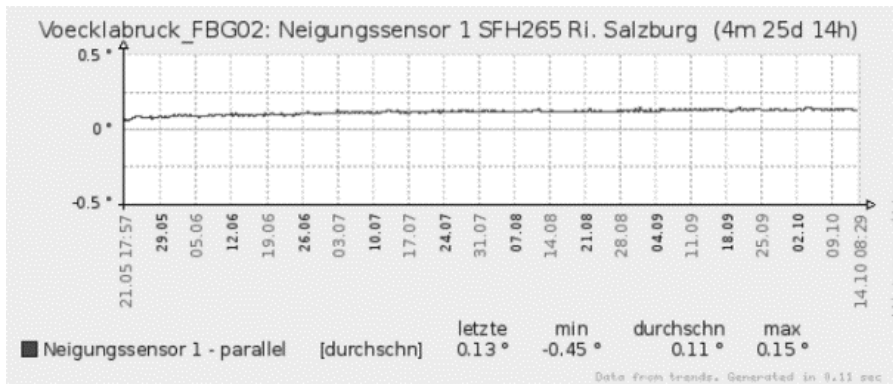


Abb. 9: Messkurve eines faseroptischen Neigungssensors

Faseroptische Kameras

FO – Kameras sind Kamerasysteme die bei zusätzlich zu anderen faseroptischen Sensoren angebracht werden und per Lichtwellenleiter Bilder der Situation vor Ort übertragen.



Abb. 10: FO-Kamera

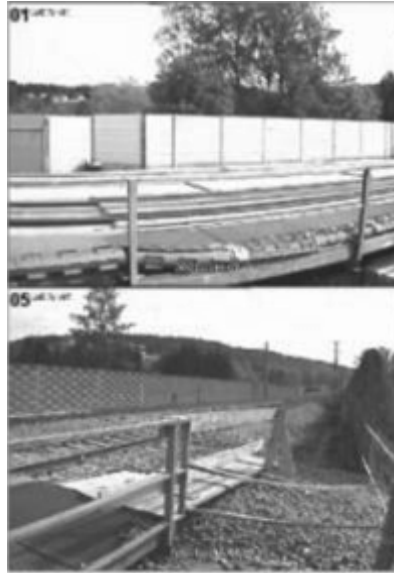


Abb. 11: Mit FO-Kamera aufgenommene Bilder

Datenmanagement

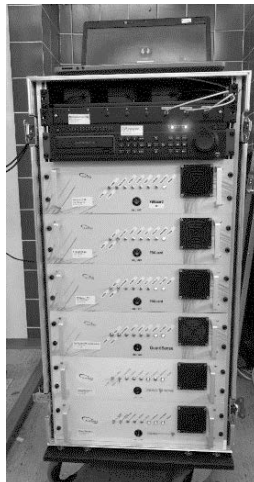
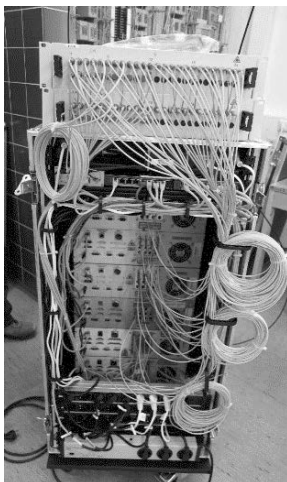


Abb. 12:
Interrogatoren und Datenmanagement

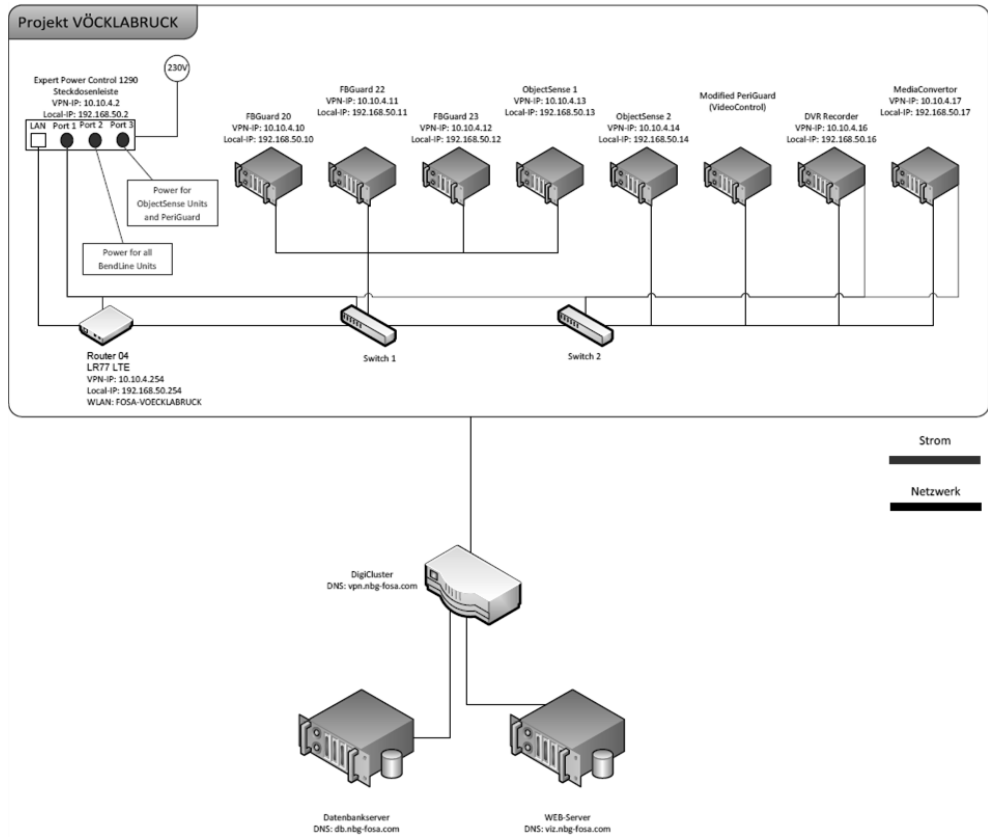


Abb. 13: Datenmanagement – VPN-Netzwerkplan

1.4 Software

Für die Digitalisierung im Bereich der Ingenieurgeodäsie sind nicht nur digitale Messgeräte und digitale Datenverarbeitung von Bedeutung, sondern speziell auch die eingesetzte Software und die Architekturen.

Das Datenmanagement und die leichte Interpretation der Daten an der Benutzerschnittstelle sind entscheidend.

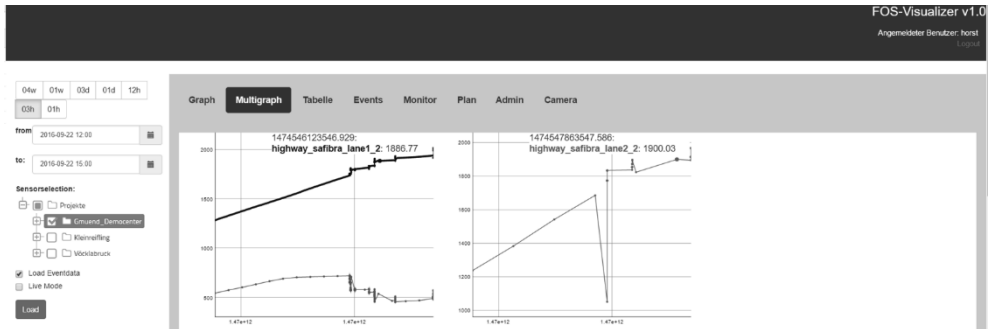


Abb. 14: Datenvisualisierung

Moderne browserbasierte User-Interfaces im Responsive Design ermöglichen den zukunfts-sicheren Einsatz auf mobilen Endgeräten.



Abb. 15: Modernes User-Interface

Mehrwertfeatures wie Live-Mode (quasi Echtzeit-Überwachung), Daten/Video-Visualisierung und automatische Schwellwertüberwachung mit Warnfunktion sind ebenso Bestandteil wie Log-Reports, Einbindung von Plänen und revisions-sichere Archivierung von relevanten Messdaten zur Beweissicherung.

Cloudbasierte, moderne Strukturen (REST-Architekturen) erlauben den globalen Zugriff und die Erweiterung mittels flexibler Schnittstellen. Selbstverständlich sind auch beliebige andere Sensoren und Messtechnologien integrierbar (Multimodales System). Diese Plattform eröffnet damit völlig neue Möglichkeiten für den Zivilttechniker der Zukunft.

1.5 Zusammenfassung

Faseroptische Systeme bewirken in der geodätischen Messtechnik einen Quantensprung auf dem Weg zur Ingenieurgeodäsie 4.0. Diese 24/7 Sensorsysteme liefern die digitale Grundlage moderner Messverfahren bei gleichzeitig hohen Abtastfrequenzen. Basierend auf den hier beschriebenen Projekten wurde ein zukunftsweisender Weg zum Structural Health Monitoring (SHM) vorgestellt.

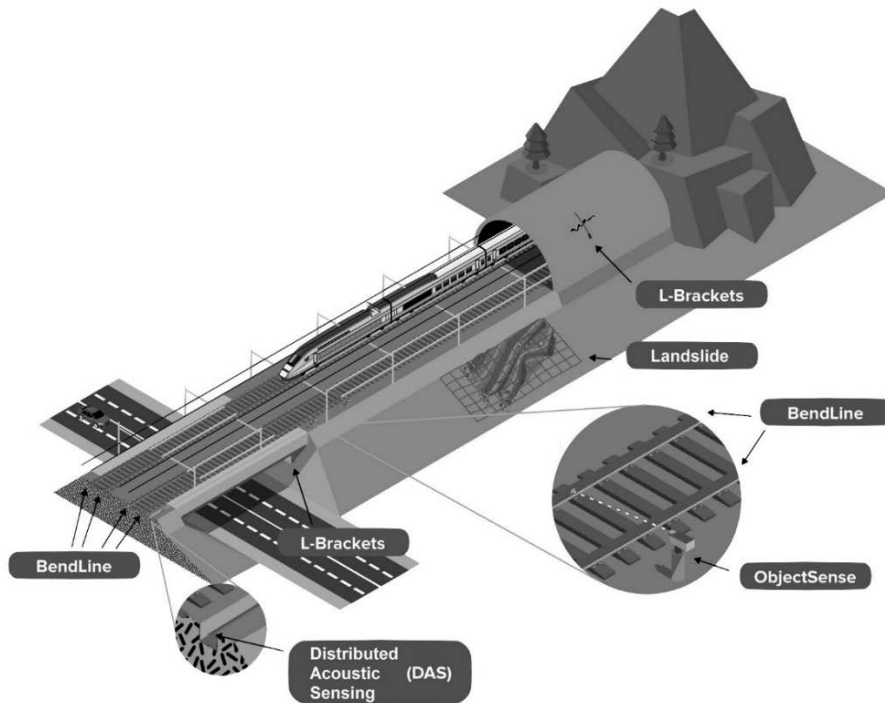


Abb. 16: Faseroptische Anwendungsmethoden „Bahn“

Literatur

- EDER, A. & DÖLLER, H. (2014): Einsatz von faseroptischen Systemen (FOS) in der ÖBB – Infrastruktur AG. Ingenieurvermessungskurs 2014, Zürich.
- DÖLLER, H. & NEUNTEUFEL, G. (2014): Neue Lösungsansätze im geotechnischen Monitoring mit faseroptischer Sensorik. AHORN, TU Graz.
- DÖLLER, H. et al. (2015): Einsatz von faseroptischen Sensoren im Bereich der ÖBB-Infrastruktur. ÖBB – FOS, Verkehrsinfrastrukturforschung Austria (VIF2012 – 840530).
- DÖLLER, H., JACHS, W. & NEUNTEUFEL, G. (2016): New Concepts and Applications for Geotechnical Monitoring with Fibre optic Sensing (FOS). Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), TU Wien.
- DÖLLER, H. et al. (2017): Faser Optische Systeme (FOS) – Real Time Monitoring SFH265 und HHB265. Technischer Bericht, Zwettl.